

平成26年度

河川研究セミナー講演録

— 総合土砂管理 —



公益財団法人

河川財団

平成26年度

河川研究セミナー講演録

— 総合土砂管理 —

公益財団法人 河川財団
河川総合研究所

はじめに

河川財団では、河川の新たな調査研究課題のシーズ調査や啓発を目的として、国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人土木研究所より講師をお招きして「河川研究セミナー」を開催しています。3回目となる平成26年度は、国土技術政策総合研究所のコーディネイトにより「総合土砂管理」をテーマに取り上げ、5回のセミナーを開催しました。

河川管理の現場では、戦後や近年に進めてきた土砂掘削や河川改修、または上流域からの土砂供給の減少などのインパクトに対する応答が河道管理の問題として顕在化している河川も多いと考えられます。一方、総合土砂管理については、平成10年に河川審議会答申「流砂系 ― 一貫した土砂管理 ―」がまとめられてから15年を経過しましたが、総合土砂管理計画が策定されたのは未だ安部川のみであり、河川管理の中に十分に実装されているとは言い難い状況です。

本講演録は、講師のご了解を得て講演内容を取りまとめたものです。河川、海岸、砂防、ダム、環境視点から、総合土砂管理についての現状と課題、実現の可能性等について幅広く触れられており、河川管理の実務に大変有意義なものとなっておりますので、実務に携わる皆様に参考としていただければ幸いです。

contents

第1回 総合土砂管理の実践に必要な技術の基本 —水系土砂動態と河道応答を起点として— 藤田光一 氏（国土技術政策総合研究所 研究総務官）	3
第2回 河道から見た総合土砂管理 —供給土砂を明示的に取り込んだ河道設計・管理に向けて— 服部 敦 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長）	37
第3回 海岸における土砂の役割 諏訪義雄 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長）	69
第4回 総合土砂管理における環境評価の考え方 —特に土砂供給が水生生物に及ぼす影響について— 萱場祐一 氏（独立行政法人 土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員）	103
ダムにおける土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるのか 櫻井寿之 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部大規模河川構造物研究室 主任研究官）	130
〈全体討論〉総合土砂管理に明日はあるのか	143
第5回 山地流域における流砂観測手法 内田 太郎 氏（国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室）	163

平成26年度

第1回 河川研究セミナー

総合土砂管理の実践に必要な技術の基本

—水系土砂動態と河道応答を起点として—

藤田光一 氏（国土技術政策総合研究所研究総務官）

開催日：平成26年 5月30日（金）

場 所：クリエクロス神田

総合土砂管理の実践に必要な技術の基本

—水系土砂動態と河道応答を起点として—

国土技術政策総合研究所研究総務官

藤田 光一

藤田 藤田でございます。お招きいただきましてありがとうございます。趣旨ですが、お手元の2枚目と言ったらいいんでしょうか、「平成26年度河川研究セミナーの全体構成」という一枚紙がありますが、今ご紹介いただきましたようにこのセミナーは筑波の国総研・土研を中心に話題を皆さんと共有するという趣旨で、3年目になります。それで今年はどうしようかという議論を皆さんとさせていただいたときに、今日お見えになっておりますが、河川研究部長の鳥居さんとも相談して、総合土砂管理で行くかと。

それで今少しご紹介がありましたが、総合土砂管理は順風満帆ではないと思います。それはいろいろな理由があって、技術的にも難しいですし、それから実践という意味で、これは主に行政とか現場が主体になりますが、決してスムーズに課題を解決していけるような課題ではないと思います。

では、その中でもう一度しっかりと、今どういう状況にあるかということを皆さんと共有することは非常に意味があるのではないかとこのように考えました。

それから、今日の私の話題提供も含めて、国総研、土研だけでこの問題を全てカバーしているわけではもちろんありませんが、それなりに過去10年、20年、少しずついろいろな整理をしてきました。そういう蓄積を一旦まとめて共有することにも意味があるかと、そういうことも考えました。

それで下に「セミナー構成」とありますが、今日のはどちらかと言うと全体的というか、なるべく俯瞰的という話をしようと思っています。しかし、俯瞰するということは話がぼやけることでもありますので、正直言って少々わかりにくいことを覚悟いた

だけるとありがたいと思っています。ただ、何とかつかみとして総合土砂管理のどこが肝なのかなと。今後さらに進めるためにはどのあたりをつつかなければいけないのかなということについて、皆さんなりの感覚を持っていただければ大変ありがたいと思っています。

それで第2回目以降、このような陣容でセミナー構成を計画しています。それで河川研究室長の服部さん、これは河道、沖積河川の管理になるでしょうか。それから諏訪海岸研究室長、これはまさに海岸ですね。それから河川環境の視点から萱場さん、それからダムにおける土砂流送制御技術ということで、国総研の大規模河川構造物研究室の櫻井さん、それから山地部の土砂動態と土砂管理ということで、同じ国総研の砂防研究室の内田さん、こういう6名をそろえて、何とかご期待に添えないかというこういう趣旨でございます。最後に4回目は全体討論を試みようということで、ここに書いてあるような狙いを持っております。

それで裏に「その他」でちょっと書きました。特に1つ目の※印は、今後出していく話かなという議論がありますが、私よりはるかに若い引き続く講師の皆さんに、こういうことをよく考えて話をしてくれという彼らへの指示事項のようなことを書いております。あまり一過性の話題提供になってしまうとやはりおもしろくないので、これはセミナーということですから、やっぱりそれなりに必要な資料をしっかりと出してやってくれというお願いをしております。

それから、やはり「総合土砂管理」というキーワードで、どこがネックなのかということをご共有するこ



とが重要だと思いますので、そういう視点で、単なるやっていることの発表にはしないでくれというお願いをしております。今日は鳥居部長にも来ていただいておりますが、その趣旨をこの後さらに若い人たちに念押しをしていってくださるんじゃないかというように思っています。

お願いが少し書いてありますが、皆さんはお忙しいので毎回ということは難しいと思いますが、なるべくまさに「総合」なので、全部やっぱり資料を共有して、全体としてどこをどう突いたらいいのかということを、先ほども言いましたように皆さんそれぞれが少しでも考えのネタになるような、そういう使い方をこのセミナーの機会を捉えていただければありがたいと思ってこういうことを書きました。以上が趣旨でございます。

それでその次に、今日の話です。ある程度要旨はご紹介いただいたので省略しますが、資料1～5まであります。

普通はこういうセミナーではパワーポイント等をちゃんとわかりやすく整理するんですが、国総研資料や河川砂防技術基準をそのまま持ってきてしまいました。最後の資料5だけはパワーポイントになっていますが、それ以外は先ほどちょっと趣旨を言いましたが、今までいろいろ整理してきたことを共有するというのを一つの狙いにしたいと思っています。何となくそのキーワードを、キャッチフレーズだけをご理解いただくというよりは、こういうベースのある種の整理があるということを共有するというのを重点に置きたかったのです。

説明の仕方としては、前半部はこの資料に何が書いてあって、どこが大事かということを中心にざっくりとお話をしようと思います。それで最後の資料5に至るところで、これは本当に一つの切り口に過ぎないわけですが、総合土砂管理というものの実践を考える上での私なりの論点の提示を試みようかなど。それで、少しではありますが、この後の海岸であるとか河川であるとか、山地部、砂防とかのお話との関連性を紹介しながら、次回以降のつながりも少し意識してというように考えております。以上が私の今日の話の大雑把な構成になります。

それで、まず講演内容の骨子のところの一つ目の●のところに書きましたように、「土砂の動きと河床材料の捉え方の基本」というところを、まずここから入ろうと思っています。まず資料1（ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方－下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて－）をしばらく説明しますが、これは「抜粋」と書いてあります表のところにありますように、国総研資料と土研資料を共同で出したものです。ちょっと古いので必ずしも最新の情報ではありませんが、先ほども言いましたように「情報の共有」という意味ではまずこれをベースにすればいいのかなと思って持ってきました。

それで、まず最初に「2. 土砂の動きと河床材料の捉え方の基本」とあります。次に「河床材料の見方」というのがあります。基本的にお配りしたものをこ



ここに写しているだけなので、手元のを見るか、説明でちょっとこれを指しながらやるかもしれませんが、それは適宜うまく使い分けてください。

それで河床材料の見方については、端的に、それこそキャッチフレーズ的に言ってしまいますと、まず河床材料を3つに分けて考えるといいですよというお話が、この「河床材料の見方」のところですよ。ここにありますように、材料「m (礫)」「s (砂)」「t (transient材料)」という3つの記号で表現しております。今日の話はどうしても流域スケールの土砂の動態を俯瞰するということなので、個々のプロセスを細かく見ていくという話からはかなり遠くて、むしろかなりざっくりしているけど、何となくこういう見方をすると一通りのストーリーが見えるかもしれないという、そういう捉え方に重点を置いての話になります。それで、それぞれのストーリーをきちんと裏づけるとするのは、恐らくしっかりした計算とか分析になっていくんでしょうが、その前段の話というのが今日の話の中心です。(図1)

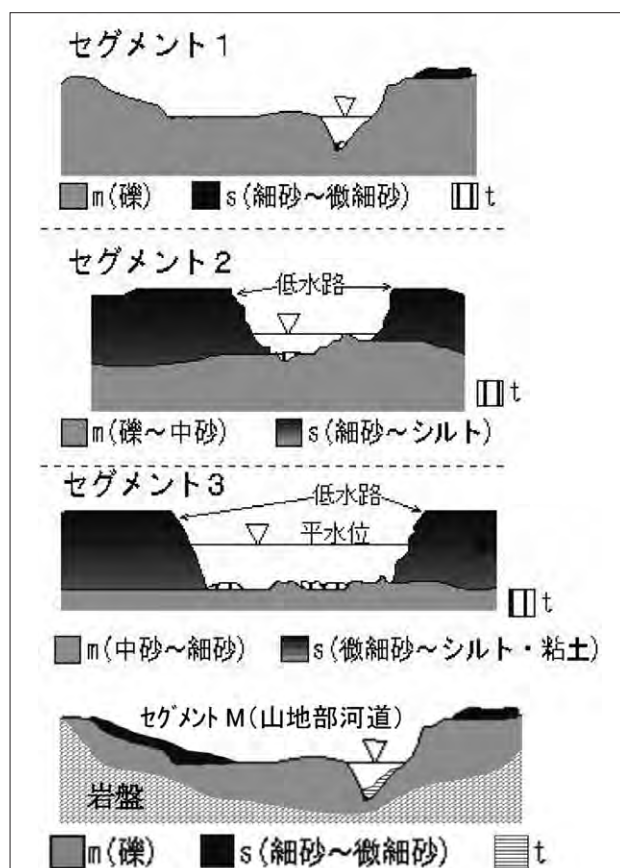
それで、まず河床材料の捉え方なんですけど、簡単に言いますと、主たる材料、メインの材料とサブの材料と、それから一時的にたまたまそこにある場合、この3つのどれを背景にしているかということがしっかり一貫して意識するだけで、ずいぶん調査とか分析の見通しがよくなります。簡単に言うとそういうことです。

それでセグメント1、扇状地の山部部の礫の河床を主体にしたものと、自然堤防体の区間を主体にしたセグメント2、それから河口部のデルタ、それぞれにこの「m」と「s」と「t」の分布状況が変わりますが、一貫しているのはこの主材料は川の一番流れの影響を最も強く受ける、いわば主役的にある「m」です。それで「s」はその脇にある。決してメインの河床材料とは同じ場所にはいないよと、脇ですよ。それで「t」はまさに一時的で、こういう河床に少しあることもありますけど、でも多くの場合は飛んでしまうよと。これらを混ぜてしまうと非常に河床材料調査の改修とか目的が混乱します。逆に言うと、今

は「m」を抑えようとしているよとか、今は「s」が大事だよとか、そういうことを区分けするだけでそれだけでもずいぶん見通しがよくなるということをやっています。

それで、当たり前ですが、河床変動計算で川の縦断形がどうなるかとか、深掘りがどうなるかとか、それはこの「m」の挙動によります。それで「s」は何かというと、自然堤防体ではこれは結構脇に溜まると言っても、もう優位な高さに溜まりますから、河岸がどうできるかとか、高水敷の高さがどうなるか、それはとりまなおさず河岸の材料がどういうもので、どういうメカニズムでそこにあるのかという議論をするときに、この「s」が非常にサブ材料になる。それが上流のセグメント1のほうに行くと、ここまで厚く溜まらなくて、薄っすらと5cm、10cm、せいぜい20cmかもしれませんが、礫の上に薄っすら溜まるだけです。ただ、環境上はこの礫が露出している場合と、薄くても泥、あるいは砂が表面にある

● 図1：河道横断面内（リーチスケール内と言ってもよい）¹⁾



場合とでは全然意味合いが違っていて、例えば植物にとっては圧倒的にこの条件のほうが生育しやすいわけですね。ですから、ある種の条件においてはこの扇状地の河川において樹林化のようなことを議論するのに、このサブ材料の存在、あるいはこの動態がとても重要だということになります。

このように目的によって使い分けをすることが非常に意味が出てくるということで、まずこの「m」「s」「t」の使い分けをしましょう。「t」はもしかしたら物質循環とか、今原発なんかでも問題になっていますが、要するに細粒物質に吸着する物質の動態のようなことにはとても重要になってくるかもしれません。ですから、何となくイメージいただけると思いますが、「m」「s」「t」というのはある種、役割だと思えます。そういうこととも何か対になるような、そういうことです。

それでもう一回言いますと、河床材料調査は一体何を狙っているのか。「m」なのか、「s」なのか、「t」なのかで全然やり方も河床も違いますので、この辺をはっきりさせるというところがイントロになるという意味です。それがこの河床材料の捉え方ということです。

それから次は、大事なところ、ぜひしっかり読んでほしいところを、飛ばしながら行きます。川の縦断形です。見て何となくわかると思いますが、この粗っぽいのが礫を表わしていて、細かいメッシュが砂を表しています。それで大きく分けると、川の縦断形と河床材料は急勾配の礫でできたセグメント

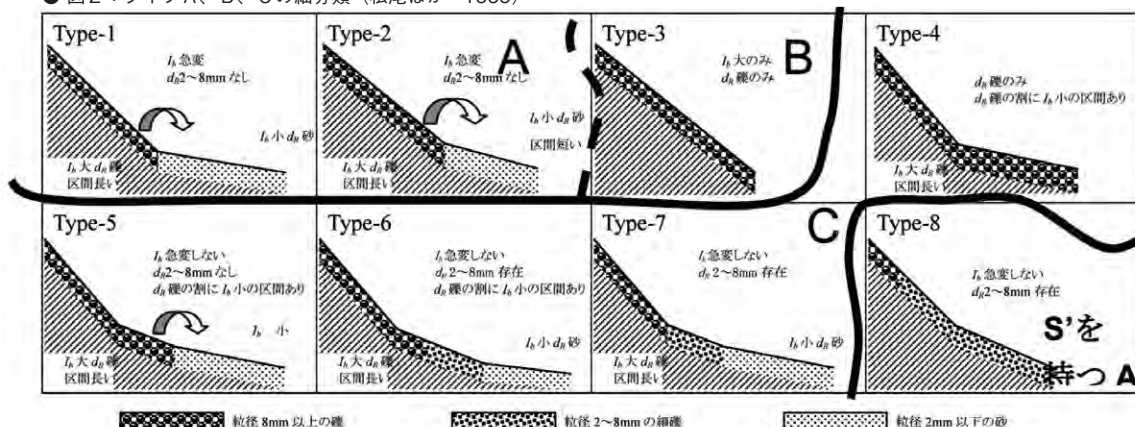
に、勾配がずっと緩い砂場でできたセグメントがくっつくと。それで結構はっきり変わる。こういうパターンを「A」と呼んでいます。それかあまりはっきり変わらない、あるいはだんだんと変わるというパターン、これを「C」と呼んでいます。大きく2つに日本の川は区分されます。(図2)

それで、なぜなのかまだよくわからないんですが、日本においては大きな立派な川ほど「A」になって、何となく礫の河川「C」いう感じになります。それはなぜかというのはわかりません。しかし、わかりやすいものとして斐伊川とか矢作川のように、粗い砂がずっと上から下まで存在しているこういうタイプの川がありますが、いわゆる真砂土の川ですが、これは非常に特徴的なので別に考えてもいいでしょう。

それで、何となく活動の激しさと、川のスケールからいって、このAタイプがまずは大事そうだなと。それでやっぱり土砂の管理の問題になりそうなのが大体この辺かなという感じがしていますので、これ以降はイメージとしては急勾配の礫河床にいきなり砂の緩勾配がつながる、「A」タイプをイメージしながら話をしたほうがいいです。

それで実はBというのはAの垂流でありまして、この砂がない、ここで海になってしまう、ここから急に深い海に川がいきなり出ていく、そういうところは緩勾配の区間が存在しませんので、これ一本ということになります。黒部川とか、阿倍川とかそういうのがこれになります。これは一連で考えていい

● 図2：タイプA、B、Cの細分類 (松尾ほか 1999)



のかなと。いずれにしても、沖積河川で勾配と河床材料のこの縦断的なつながりのイメージを持っていくということも、全体的なことを俯瞰するのにとても重要だということで、この図（図2）をひとつのポイントだということで示しています。

それから次に、この表（表1）が今の2つを組み合わせた、つまり横断方向に負荷を上げたときに、材料「m」だったり、材料「s」があったり、材料「t」があったりします。それから縦断方向では、さっきの縦断形のもは材料「m」のメインの材料の話ですね。それについて縦断方向にいろいろ変わったりします。それで、さっきのAタイプというのは、礫の急勾配が砂の緩勾配ぶつかる縦断形になりますが、それを組み合わせて、上流からセグメント1からセグメント3の海のほうに行く。それで材料「m」・「s」・「t」があって、通常はこっちは材料「m」に対して「s」はずっと細かいし、材料「t」はさらに細かいという感じがあります。ただ、微妙にこのセグメントによって少し大きさが相対的に変わってきますが、表1のように川にそもそもどういうパターンで、トータルとして河床材料が存在していそうかということをイメージするという習慣づけも非常に重要であります。（表1）

それで細かいことはいいんですが、こういう軸で

このような表を埋めて見ようとするということは意味があると思って、ここに紹介をしています。それでここに、後からまた議論になりますが、海岸を構成する材料もここに書くと、この上のどれが海岸の材料になっているかということが1つの表でいや応なしに考えることになるので、この表自体が俯瞰的に物を見る方向に話を誘導するというそういう役割を持つかなということで、この表は重要かなと思って今紹介しました。

さて、次に、沖積河川に供給される土砂は、沖積河川を流下して、多くの場合は海岸材料になるわけですが、それをつくる材料は山から来ているわけですね。それは土砂の量と粒度分布の話です。これはだいぶん前にこういう方法を使ったんですね。沖積平野のいろいろなボーリングがあるものですから、そこで泥とか砂とか礫とか、粗々ですが何となく堆積量が無理やり計算すれば出るので。それで現在、大体1万年ぐらいかけてこういうものが溜まってきたと言われていますから、それで大雑把にやると、ちょっとわかりにくいんですが、色が分かれているほうの動画を見ていただくといいんですが、例えば木曽川、この黒色の凡例と、一番上の凡例がシルト・粘土です。この白色の凡例が砂で、礫がこれぐらいです。それで大体、何となく似ているんですね。シ

● 表1：沖積河道における河床材料の存在状況

	河道セグメント分類（カッコ内は材料 m に着目したもの）				→下流 海岸・沿岸部 ★
	上流← セグメント1 (Gセグメント)	セグメント2-1 (Gセグメント)	セグメント2-2 (Sセグメント)	セグメント3 (Sセグメント)	
材料 m (洪水が挙動を決める)	礫	礫	砂(粗砂～中砂)	砂(中砂～細砂)	
材料 s (洪水が挙動を決める。植生や横断形による流速低減効果も重要)	細砂中心(中砂～シルトが混じること) (李ほか 1998, 1999)	細砂、微細砂 (シルト混じりが多い。中砂が混じることもある) (李ほか 1999)	シルト混じりの細砂および微細砂、シルト (李ほか 1998)	シルト混じり微細砂、シルト (粘土が混じること)	
材料 t (平水時や小出水時の供給&タイミングが大事。洪水でフラッシュされる)	中砂以下？ 含；粒状有機物	中砂以下？ 含；粒状有機物	微細砂以下？ 含；粒状有機物？	シルト以下？ 含；粒状有機物？	
海岸・沿岸にかかわる材料分類★					★

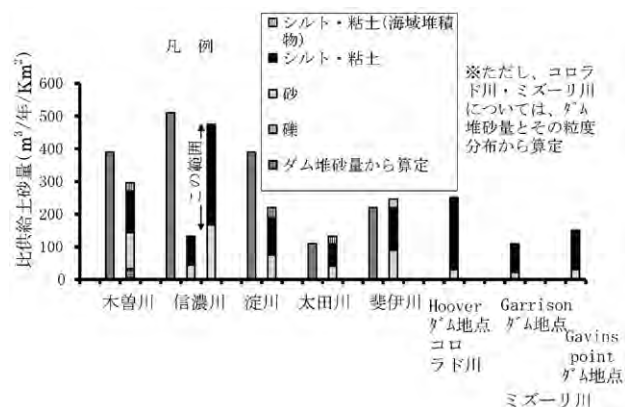
注) 河川から供給される土砂が海岸・沿岸にとって重要な場合、★印の部分を入れることも大事である。海岸材料になるのは、直近（最下流）セグメントの材料 m（の一部）であることが多いが、s あるいは t の寄与が重要になる場合もあると考えられる。

ルト・粘土が5割ぐらいあり、砂が3～4割。それで礫が1～2割です。もうちょっと少ないかもしれませんが。そんな割合です。この割合が結構重要ではないかと。(図3)

主だった河川で同じようなことをやっています。縦軸は比供給土砂量ということで、よくあるものです。それでそのときとしてはとてもおもしろかったんですが、ダムの中に溜まっている物が今の割合とそんなに違ってなくて。これはいろいろなダムの、櫻井さんたちが調べたものなんですが、ダムも大げさに言うと今世紀に入ってから結構ボーリングをやって、総量だけでなく粒度分布を結構本気になって調べようという動きになりました。それは土砂管理のベースの情報を作るのにとても大きな役割を果たしていると思っています。(図4)

それで、これで見ますと礫がやっぱり一番かな、ちょっと多いと2割ぐらいになりますが。砂が3割

● 図3：沖積平野堆積構造から調べた粒径範囲ごとの沖積河川～土砂供給量

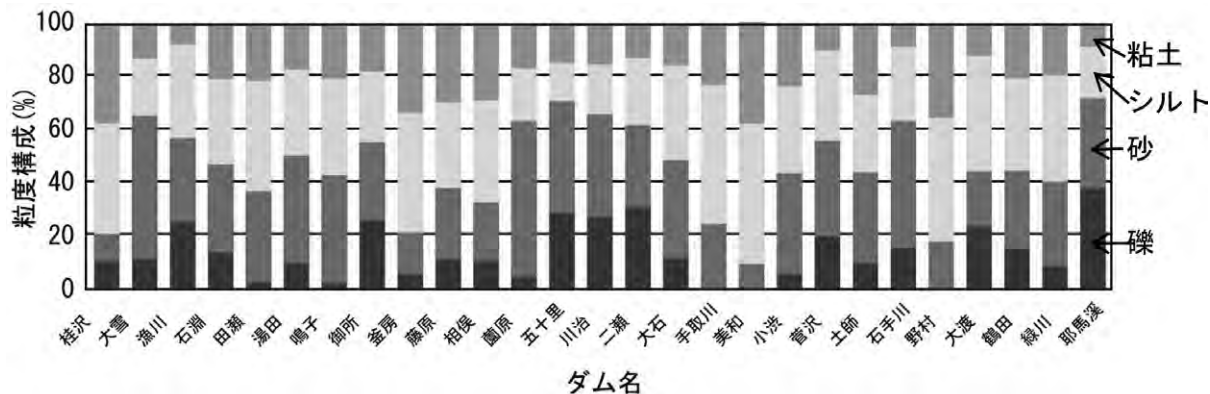


ぐらいですかね。シルトと粘土を足すと5割を超える。やっぱり、多少は泥が抜けやすいので、実はもっとこのシルトと粘土が多いのかもしれませんが、いずれにしても要はトータルでどういう粒度が出てくるかという話にしてしまうと、礫が少しで、砂がそこそこで、泥が多いと。ただ、当然ですが山の中は勾配がきついで、見えないだけでトータルの量は泥が多いということは一つ大事なポイントであります。この量そのものがある種、土砂の動きのアクティビティというか、活性度を表すということで、この割合というのはとても重要だというように思っています。これが供給量です。

これぐらいのことを押さえておくと、何となく沖積河川のでき方が少しイメージできるかなというのが次の話で、流砂系という観点からの土砂輸送形態の捉え方という話になります。そのときに、もう一つだけ、いろいろな概念が出てきてわかりにくいんですが、混合型と通過型、この2つの土砂の動態だけはぜひ、これも少し意識して使っておくと全体が見やすくなると思いますので、お示しをしたいと思います。

混合型というのはここに書いてあるとおりです。その場所の材料「m」、主河床材料と混じり合いながら輸送される。河床変動に寄与する、その分、自身の輸送量も縦断的に変わると。河床変動で出たり入ったりしますので、河床材料「m」の輸送はその定義からして混合型であるということ。これが「混合型」です。

● 図4：ダムの堆積した土砂の粒度校正 (櫻井ほか 2003)



それで通過型は何かというと、その下にありますように、材料「m」と有意に混じり合わないで、高々せいぜい材料「m」の石の隙間を満たす程度。それで材料「m」にかかわる河床変動にはほとんど寄与していない。簡単に言うと、例えば材料「m」が30cmの石であって、ここで混合型が0.3cmの砂だったりすると、ほとんど河床に溜まりませんので、急勾配の場所では、そういうものは基本的には通過するだけだということです。それで通過するだけなので、自分の縦断的な運送量の変化も小さい。いわば、その流系にとっては、その河道はパイプ、樋のような役割だと、それを「通過型」というように呼んでおります。

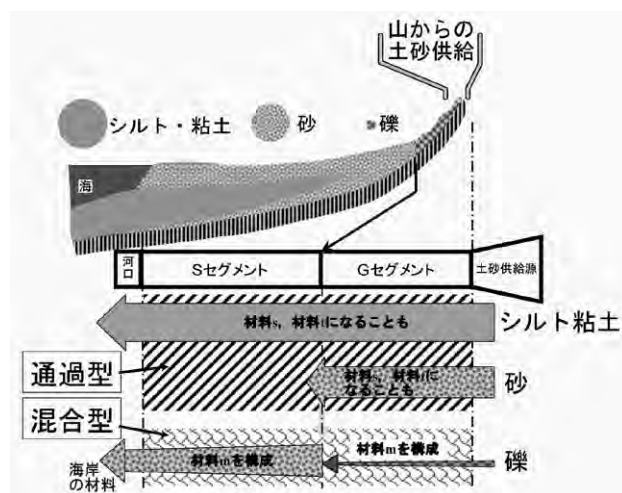
それで、どうも混合型と通過型、この2つを使い分けて今まで説明したファクターを組み合わせると、細かな定義とか課題はここに書いてありますので、興味のある方はまた読んでいただければいいんですが。(表2)

そうすると何かこういう図が描けるというのが、2-14ページですね。先ほど縦断的に礫の急勾配に緩勾配の砂がぶつかるのがAタイプだと言いました。これがまさにAタイプの川の縦断構造のポンチ絵でございます。これが大元の礫の基底の礫層というものでありますが、ここに海があって、そうするといわゆる最後の氷河期が終わった後にこういうものが溜まる。さきほど申し上げたように、泥が5～6割あって、砂が3～4割あって、礫がある。その割合に応じてこのように溜まって、今多くの人たちが使っている沖積平野ができているということです。

ですから沖積平野のでき方と、川の縦断形と、それから縦断方向の粒度のばらつき分布、これは非常にお互いに関係していると。こういうことになります。(図5)

それで、礫も砂もシルト・粘土も山から沖積平野の出口に供給されますが、礫は混合型、つまり材料は「m」ですから、河床材料となって流下して、セグメント境界でストップします。ですから、礫は混合型です。微妙な川もありますが、砂は急勾配のところ(Gセグメント)を、通過型でスッと行って、Sセグメントで初めて河床材料の主役になりますので、ここからつまり通過型で行って、Sセグメント混合型になって河床材料となってこう行くと。それで泥は多くの場合は、ほとんどのものはここも勾配が急過ぎて堆積しない。それで最終的には海まで行ってしまう。全部、通過型であると。とりあえずこういう見方ができます。

● 図5：河道縦断形の形成、河床材料分級とマクロな土砂収支



● 表2：流砂系という観点からの土砂輸送形態の分類と他の分類法との対応関係

流砂系という観点からの土砂輸送形態の分類 〔ある粒径集団に対して〕	従来の分類との関係	
	水理的分類 (流砂形態に着目)	一出水程度の時間スケールで見た(?)土砂起源による分類
混合型： その場所の主河床材料(材料 m)と有意に混じり合いながら輸送される。河床変動に寄与し、その分、自身の流送量も縦断的に変化する。材料 m の流送はその定義から混合型である。河床材料を起源とする。	掃流砂または浮遊砂	Bed material load
通過型： その場所の主河床材料(材料 m)と有意には混じり合わない(せいぜい材料 m の隙間を満たす程度)。材料 m にかかわる河床変動にほとんど寄与できない。その場所は基本的に“通過区間”で、自身の流送量の縦断変化は小さい。一部が材料 s, t になるが、その量は一般に全フラックスに比べればごく小さく(材料 s)、あるいは堆積が一時的(材料 t)なので、マクロにとらえて通過型に分類できる。	多くの場合、浮遊砂。小出水時、平水時には掃流砂のこともある。	多くの場合 Wash load。小出水時、平水時には、Bed material load のこともある。

それで、こういう見方をしておくとは何となくこういう急勾配の礫と緩勾配の砂ができて、1万年でこんな平野ができて縦断形ができてきたということが、そこそこ説明できそうだというのがこの図のポイントになります。

それで、もちろん通過型と言っても、先ほど材料「m」・「s」・「t」の話をしました、脇にちょっと溜まって少し自然堤防をつくとか、あるいは扇状地の川で脇に溜まって5cm、10cmの薄い泥の層をつくって樹林化を起こすとか。あるいは一時的に材料を「t」として溜まってとか、そういうものもありますので全く100%通過とは言えないんですが、大局的に見ると砂がここで、あるいはシルト・粘土は河口まで通過してしまうよという見方でそんなにおかしくはないだろうと。そういうことで、ここにちょっと申しわけ程度に、材料「s」、材料「t」になることがあるよと。あるいは、ここで材料「s」、材料「t」になることがあるよと、こういうことを書いております。

それで、こういう図を見ますと、例えばダムができてこの蛇口を全く閉めたらどうなるかと言うと、礫はここで閉めたらこの辺からもう供給がないので、閉めた影響が礫の河床の動態としていろいろ出てくるということになります。一方、砂はここにとっては通過型なので、たぶん、河床の高さそのものにあまり影響しないで、むしろ供給のフラックスがずっと減って行って、Sセグメントで初めて上から砂が来なくなったということになって、この辺から河床が下がり始めるということが起こり得ると。つまり何を言いたいかと言うと、蛇口を閉めた影響が必ずしも順番に川の上から、沖積平野の上から来るわけではなく、この動態、混合型とか通過型とかを組み合わせ考えていくと、途中から影響が出るということも大いにあり得るよということであり得ます。

それからシルト・粘土はずっと通過型というのが主体ですから、理屈上はここで全く供給ゼロにしたら海に出て行く泥の量が結構早く減ってしまうん

じゃないかと。だから例えばもしも泥の海への供給というのがよきにつけ、悪しきにつけて課題になっているのであれば、結構レスポンスは早いのかなというように、何かあるインパクトが加わったときのレスポンスがどこにどういう順番で、それからどういう早さで出るかというのを大局的につかむ上で、実はこういう図をある程度は頭に入れておきながら現場を見ていくと、比較的理解の最低限の枠組みはできると思います。こういうちょっと大事なポイントを有している図ということになります。

それで、そういう考え方を延長して「有効粒径集団」という概念のお話をします。要するに、もちろんもっと細かくやれば、もっと分けることができればいいんですが、一時的には礫の集団と、礫以上の粒径の集団と、砂ぐらいの集団と、シルト・粘土ぐらいの集団に分けて全体の動態をつかむと結構いいんじゃないのと。それで実はそういうものを「粒径集団」と呼んだとしたときに、それぞれがどういう役割を果たしているかということが意外に特定できたりします。

今申し上げたように、例えばこういう泥は海への物質の供給という役割を担っているかもしれませんね。それから、あるいはこの辺で脇に溜まれば自然堤の形成という役割を果たしているかもしれません。それから砂は、この辺は石の間に隙間を埋める砂の状態を支配していて、この辺になるとまさに河底の縦断形とか河床の高さ、河床低下そういうものを支配するというように、それぞれの集団がある特定の役割を果たしている。

そうすると、特定の現象に効く粒径集団を「有効粒径集団」というように見ていくと、何かある問題が起こったその問題がある有効粒径集団の多い・少ないでそういう現象が起きているとすると、それを回復したり、それを減らしたりすることで問題がコントロールできる可能性があるという、そういう議論に発展する可能性があります。そういう意味で、こういう概念を少し人間の操作というほうに発展させるということを少し概念にして、そこを汲みなが

らこの有効粒径集団ということをご提示しています。これが粒径集団の説明ということになります。

それでもうちょっとと言いますと、例えば天竜川、佐久間ダムに溜まっている、これは流動曲線ですが、先ほど言いましたように、天竜川の佐久間ダムは大変大きなダムですから、シルト・粘土から砂から、礫から流れています。それで先ほど言いましたのと同じように、シルト・粘土が半分ぐらいあって、砂がちょっと4割ぐらいあって、それで1割弱の礫があると、こういうことです。それを粒度分布に包括的粒度分布として得られたわけですが、下流の河床材料とか、下流の海岸の材料の粒度分布もここに合わせて書いております。そうすると、天竜川の沖積平野に出た後の河床材料は、大体こんな分布になっていて、石が1～7cmぐらいの礫の間にちょっと砂が混じっている。この砂がまさにこのダムに溜まっていた砂の粒径と大体対応します。それからこの礫はダムに溜まっている礫と、ちょっと微妙ですがおおむね合っているかなと。それから、大事なのは海岸ですが、やはりダムに溜まっている砂の材料とおおむね対応しているということです。ということは、ダムの段階で来ている粒径の砂はこういう川の隙間、河床の礫の隙間を埋める砂になったり、そして海岸の材料になっています。それで礫は天竜川の中・上流部のまさにメインの材料として働いているんじゃないかと。シルト・粘土はほとんど海に行っていて、ところどころ材料「s」として表面を覆っているみたいなことがあるかもしれないと。そういうそれぞれがある特定の役割を担っているというように、この具体の川についても位置づけられそうだと、いうことを少し説明をしました。こういう見方がだんだんと「管理」という方向に、基本的な物の見方から少しずつ踏み出していくというそういう展開になっていくという、こういうストーリーになっていきます。(図6)

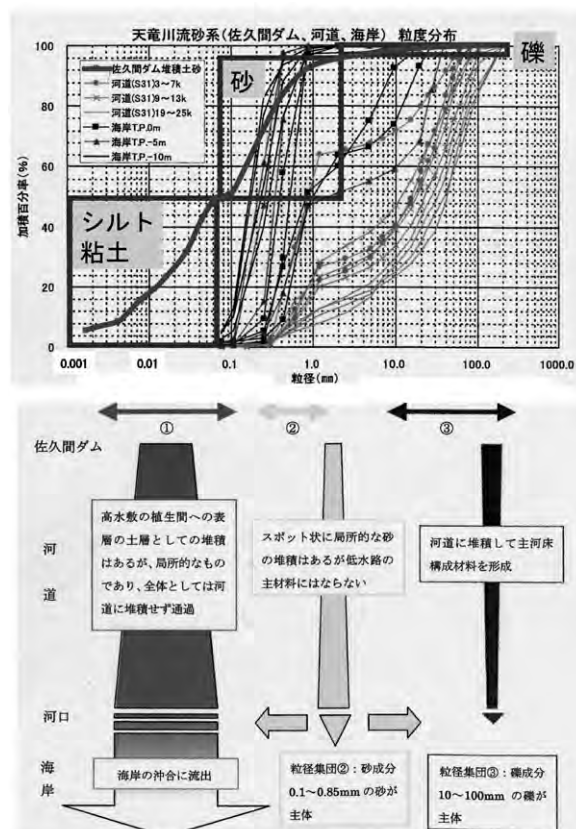
そういうわけで、まず基本的な事項であります、先ほど言いましたように、「m」・「s」・「t」の何を使っているとか、あなたが見ている粒径の集団は、そ

の場所において混合型なのか、通過型なのか、その辺をある程度把握しながら分析していくということが河床変動計算、あるいは収支を取る、どういう意味のある収支を取ったらいいのか、その他もろもろの実務上の分析にも結構基本的な土台になるよということをここで少しまとめております。

沖積平野の話を中心にしましたが、山地河道、これは特徴が大分違います。それで、これは全部しゃべっていると時間がないので、特徴を無理やり11個ぐらいにまとめております。タイトルを見ていると、もうそれだけをざっと見るだけで雰囲気はおわかりいただけると思います。流域・水系の視点、流域での地形・地質分布、要するに空間的な配置が重要ですねという話です。

それから、材料「m」というのも粒径の幅が広く、しかも空間的にばらつきが大きい。つまり、場所ごとに粒度分布さえ変わってしまうという話だったり。

● 図6：天竜川下流部の粒径集団別土砂動態の分析例



上は天竜川・佐久間ダムに堆積した土砂の全体的粒度分布(赤太線)と下流河川(オレンジ)および河口付近の海岸(青、黒)の粒度分布を示す。(海岸浸食対策と利水ダムの機能の維持・回復のための土砂管理対策検討委員会(委員長：辻本哲郎)(2004)より)

それから岩盤の制約というのがすごく重要になってきます。

それとほとんど同じですが、いわゆる沖積層的に動く、流水で動く層の厚さが所以で、それがなくなってしまうたら動かない層が出てきてしまうという意味で、今はどれぐらい水で動く、流れで動く層があるか、残っているかということ自体も非常に大事になってきますね。

それから平野ではないので、谷底で制約されていますから、極端な洪水が出れば極端な掃流力が出てくるということで、極めて頻度は小さくても非常にべらぼうな営力が作用する可能性がある。そうすると過去の履歴なんかを見るときに、この作用は山地部の川を見ている場合と沖積平野を見る場合には、大分根本的に違ってくるなということにもつながります。

それから急勾配、支溪流です。本川上流からじゃなくて支溪流からボーンと横から来ます。これは結構、実際に川で効いています。先ほどの材料「m」の粒度分布が場所ごとに変わってくるということにも大いに関係する話であります。この辺の話はたぶん、最後の4回目で内田さんあたりにもうちょっとまじめにお話をさせていただけると思いますが、今日はイントロぐらいだと思ってください。

それから8番が大事ですね。土砂供給が時間的、空間的に不均一、要するにまだ流れとの関係でならされていないので、土砂供給の場から非常に近いと。それで非常に供給が不均一でこの影響を強く受ける。

ゆえに、9番ですが、河床材料の流送量と流量との関係が沖積河川では大体安定的で、一定の関係を大体は持っているのかなと。でも山の中では大分違うねと。例えば、全然土砂の供給がない状態でたくさん水が出たら、材料は枯渇して、流量が多くても全然土砂が動かないということもあります。その逆もありますから、そういう意味で9番のようなものは沖積河道に比べると非常に顕著に出るということです。

それで10番は、これはこの後に少しかかりますが、

主材料が「m」であっても、全然洪水で動かないということもあります。こういうことも頭に入れておいてください。だから、何となく山の中で流量が大きいからといって、石があるから必ず動くというのは全然勘違いですよということです。

それで、こういうやっぱり沖積河川の捉え方と、特に土砂動態について。それと山地部との共通点もあるけれど、やっぱり根本的にフレームとして違うところもあるという対比を常に頭に入れておくということは、後段の議論になる両者をつなぐときに非常に重要になってきますので、定性的な記述ではありますが、この手の話は非常に重要だなということでもあります。以上が基本だということでもあります。

それで次の話は、ダムの話になるんですが、なぜダムのお話をするかということ、何だかんだと言っても流砂系に与える一番大きい層でわかりやすいインパクトであるので、流域のスケールで大きなインパクトが加わったときに、一体、川または土砂動態というのはどう変わるのかなということを、トレーニングするのに非常に向いています。今日はダムということをお話の話題として挙げております。

まず、非常に教科書的な話ですが、ダムって何しているのと。今日の話は土砂管理が視点ですから、ダムの本来の目的の話とはちょっと別です。つまり、非常に物理的・化学的にどういう機能を持っているかということです。本来は治水・利水その他こういう機能を持っていることは当然であります。それが大前提です。それでダムの地点では流量が変わったりとか、土砂供給が多くの場合に大幅に低減したり、遮断されたりして、物質も変わって、それから水質が変わるということがあります。

大事なのは、このダム下流河川の物理環境との関係の捉え方ですが、ダムで生じる現象はもちろん基本ですが、下流への影響、あるいは水系全体の影響というのはこれだけで決まるわけではなく、ダム地点での影響は下流にどのように伝わるか。これは多くの場合に、影響がだんだん薄まってきます。その辺のファクターをかけ合わせて初めてその場所で、

例えばダムというインパクトがどういう影響を持っているかを理解できるということで、とても当たり前なんですけど、これをちゃんと頭に入れましょうということです。（図7）

それで逆にこれとの対比でいくと、結構河川改修も含め、あるいは砂利採取も含めて、川というのは直接いろいろな作用を受けています。それで直接の作用というのは非常に効くので、遠くのダムより近くの直接作用ということもありますが、全体の土砂の議論をするときに、ダムがあるから何かステレオタイプでこれだけで議論するというのはナンセンスで、ダムはこうなって、それで下流に伝播してこうなると。他方、こういうことを河川で直接やってきたと。トータルでちゃんと見ましようねという、そういうことを見なければだめだということがここに書いてあります。

それで、その上でダム地点で生じる現象については幾つか事例が示されておりまして、細かくは立ち入りませんが、本当はダムと言っても十把一絡げにするなということです。これは例えばピーク流量がどれぐらいカットされるか。1.0というのは、要するに全然カットされていないということです。これは実績ベースで0.3というのは、3割カットされると。要するに、3割も実態としてピーク流量が均されているダムもあれば、9割ぐらいにしかならないとか、いろいろあるんです。だから、このピーク流量をどれぐらい均すかということでもこれだけの幅があるわけですから、「ダム」という一般名詞ではなく、

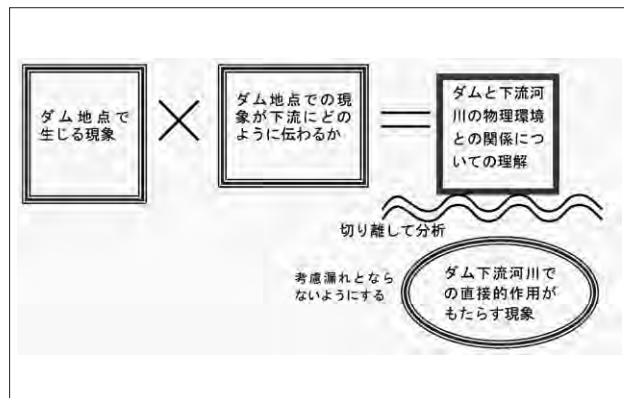
今インパクトの影響を議論しようとしているダムはどうなんですか、というように必ず固有名詞にするということです。こういうことになります。（図8）

それで同じようにそのあたりのグラフがありますので、これは丁寧に説明にすると長くなるわけですが、流量平滑化、これもゼロがほとんど流量が平滑化しない。それでプラスが平滑化、マイナスがむしろ凸凹を激しくしているんですが、平滑化がすごく激しいダムもあれば、大して平滑化しないダムもある。これは多くは発電ですが、かえってプラスαの変容を与えているとかいろいろあります。ですから平滑化についても、そのダムはどうなんだという見方をちゃんとしないと、一般的なステレオタイプでは捉えないでねということを行うための図であります。だから、個々のダムにいろいろな当然求められる機能があるわけですから、それに応じてちゃんと設計されているので、ダムの地点における作用も変わるよということを今、強調して申し上げました。（図9）

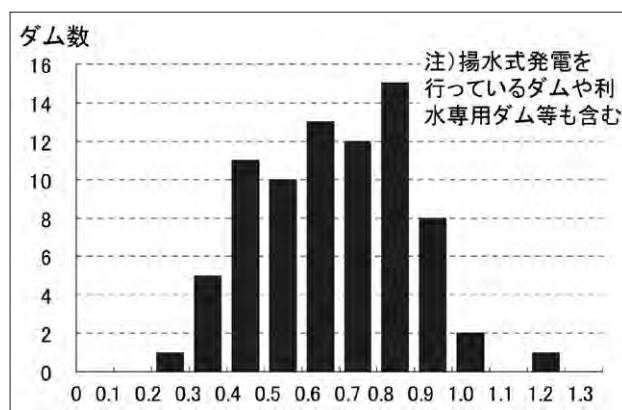
それでダムに堆砂する土砂の量とか、その辺は後でまたお話をします。

それで、ここはこの図がひとつのハイライトになるんですが、ずっと行きますと、これがポイントです。これは北海道から、東北から、関東からといろいろ書いてあります。これは何を言いたいのかというと、これは名前が「ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ」、それで、「ダム集水域面積割合」とは何ぞやということですが、例えば木曽川で見る

● 図7：ダムと下流河川の物理環境の捉え方と留意事項



● 図8：年最大放流量／年最大流入量のヒストグラム（流量は瞬間値）



と、木曽川のある地点で川に立って上流を見て、そこから流域全面積に対してダムの流域面積がどれぐらいを占めているか。それがこのダム集水域面積割合です。この図では9割、だからほとんどがダムの流域を占めているわけです。割合で色分けをしています。(図10、11)

そうすると、もちろん川によって、例えば木曽川なんかはもう土砂生産域の相当部分をダムが塞いでいますので、河口ではほとんど9割以上ですが、例えば櫛田川とか、上流にダムはありますが、河口では1割以下になっています。だから河口の議論をするときに、ダムの影響がどうのこうのというのはちょっとポイントが違うと思います。あとは中間的な色とかいろいろあります。

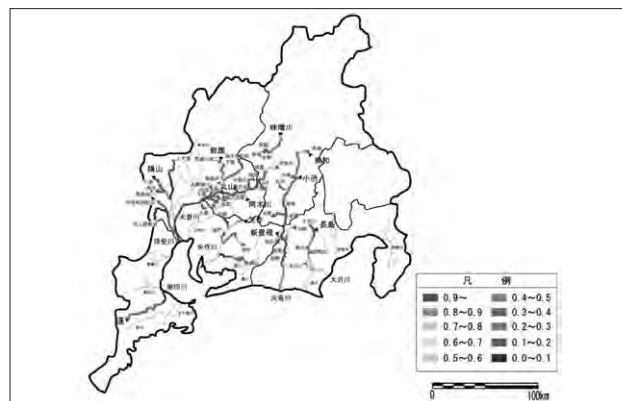
それでこの空間配置のようなものがやっぱり管理を考える上でのまずイロハのイなので、例えば江の川ならこのあたりまでは水色ぐらいで、本当に上流のところ初めて赤になる。そうするとダムの影響とかそういうものを議論するのに、一体ダムの空間配置の中でどこがすごく課題となり得るのかとか、そういうスケール感とか空間的な認識をするという意味で、このマップが基本中の基本になるのかなということでここに書きました。とても当たり前の図のようですが、結構これは書くときには大変でして、大変苦勞をしてもらいました。

では、こういうことも含めてこんな捉え方をしてみようかというのが、ダムー下流河道関係把握図です。縦軸が流量比、ダム下流のある地点でのダムな

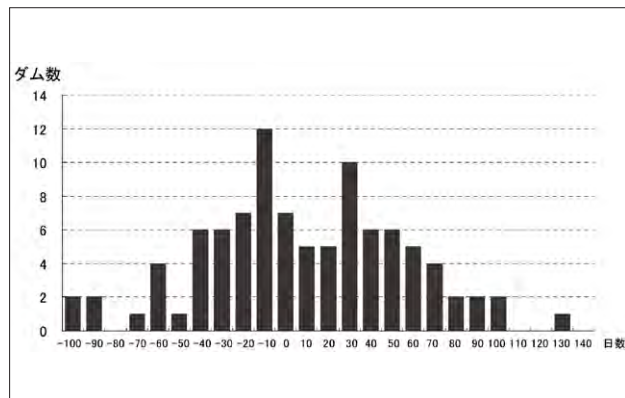
しの洪水流量に対して、ダムありの洪水流量の比。つまり、ダムがあることで洪水流量がどれぐらい減ったかと。1.0、ここが何も出ない、ここはゼロ、全く洪水がなくなったと。これが縦軸です。それで横軸が土砂流送比でありまして、同じくダム下流のある地点で、ダムなしの土砂流総量に対して、ダムありで最終的な土砂流総量はどうなっているか。1.0、これは全然減らない。ゼロ、これは減ると。そうなっています。

それでいろいろな切り口はあるんですが、実務的な話も含めて先ほどの空間的な配置が非常に重要だという話も絡めて、どうやらこの縦軸の洪水がどれぐらい減るか、あるいは減らないか。先ほど言ったように、減らないダムもあります。ですから、この辺に分布しています。それから、土砂がどれぐらい減るか。この軸の中である程度類型化すると、スタートラインとしての影響の捉え方ができるんじゃないかというのが着眼点であります。

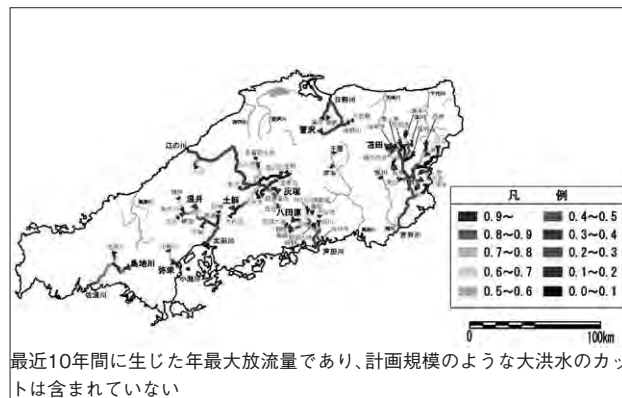
● 図10: ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ(中部地方の作成例)



● 図9: 流量平滑化指数のヒストグラム(日流量に基づく)



● 図11: ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ(中国地方の作成例)



最近10年間に生じた年最大放流量であり、計画規模のような大洪水のカットは含まれていない

それで実際にこの図を書いてみると、このようになります。同じく横軸が最小土砂流送比、縦軸が洪水の流量比です。それで当たり前なんですが、ダムからの距離、ダムのところから4k、8k、12k、ダムから離れていくと当然影響は薄くなってきますので、どんどんこっちに来ます。しかもスタートが先ほど言ったように、ダムと一口に言ってもほとんどピーク流量をカットしないダムから、がらがらカットするダムといろいろあります。それがスタートラインがいろいろあって、なおかつ下流に行くとどんどんダムがなしの点にかかって近づいてくると。こういう図が書けます。そうすると、あるダムから何k地点はここなので、大体それはこの図の中のこの辺に位置しますねという位置づけが何となく理解できそうだと、こういうことを狙ってこの図をつくってみました。

それで、これがどういう物の見方につながるかというのをこの後ちょっと説明します。図の右上にある領域Ⅲは、1:1ですから、ほとんどが影響はないですね。領域Ⅳ洪水はあまりカットされないけど、土砂は行ってしまう。だから土砂欠乏型。領域Ⅱは土砂もあまり出さないが、洪水も大幅に減らしていると。これは何となく静かになってしまう型というか。これは理屈上はちょっと起こりにくいんですが、場合によっては可能性があります。支川によっては土砂の供給が激しい川だったりすると。日

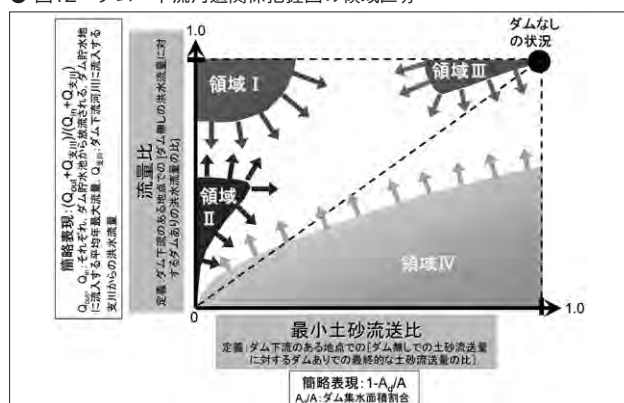
本だとちょっと考えにくいんですが、これは土砂を結構出すんだけど、ピーク流量が減ってしまうというものです。これはむしろ細粒化してしまう。可能性としては細粒化するというものもないわけではない。(図12)

それで、こういう領域のⅠ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳそれぞれで場所ではどんなことが危惧されるかとか、ではそういうものを評価する上でどういういろいろな技術的な検討をしたらいいのかということのを少し類型化して整理したというのがこの後の話になります。そういうような話のために、この図(図12)を作成しました。

それで、もう1つ大事なのが、この図(図13)ですが、先ほどの図(図12)ではどうしても表現し切れないのが「無次元掃流力」です。ダムの下流の材料「m」の粒径に対して、どれぐらいの流れの力が作用するか。これは非常に教科書的なプリミティブな手法ですが、限界掃流力0.05以下のもので終わってしまうものもあれば、限界掃流力を超えてそれなりにダムができた後も材料「m」が動くというものもあります。ここでは動くものを「高移動性」、動かないものを「低移動性」というように名づけております。(図13、14)

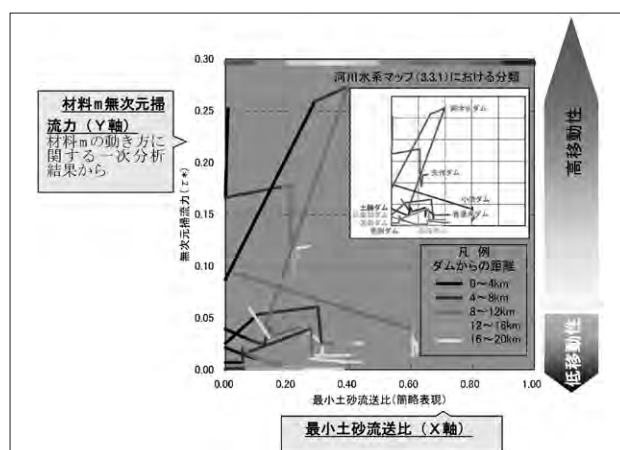
それで大事なものは、先ほども言いましたように山地部の河道ですと、場所によってはそもそもダムがあろうが、なかろうが、石が動かない。そういう特

● 図12：ダム下流河道関係把握図の領域区分



領域区分は明確に分かれるものではなく、境界は状況によって移動する。また封区数の領域の中間的な性質を持つ場合もあり得る。こうしたことを図中では矢印群で上限している。

● 図13：最小土砂流送比～材料「m」無次元掃流力図(ダム無し状態を想定して算定)の作成



微を持っている場所もあります。ですから、もう一回言いますと、川の中で石があるから必ず動くというわけではなくて、むしろこの区間の石の材料と作用する掃流力との関係で、そもそも低移動性なのか高移動性なのか。それがダムができたことでどう変わったのか。この両方を見てこの低移動、高移動ということをちゃんと判断するということが重要です。常にここに答えがあるというわけではないよということも、合わせて押さえておく必要があります。

それで、これだけの整理、これとこの図の中でどこに来るかということの整理ができると、こんな整理がいけるんじゃないかということが最後のほうでうたっています。これは先ほどの領域のⅠ、グラフの左の上、それから領域のⅡ、左の下。だから洪水の流量は意外に活発なままだけど、土砂が減ってしまうパターン。それから洪水流量は減って、土砂も減ってしまうパターン。それから両方ともあまり変わらないパターン。それから洪水流量は減るけれど、意外に土砂が減らないパターン、この4つでそれぞれで各材料「m」についてはどういうことが起こるか。では、材料「m」の上を通過して流れる材料がどんな挙動をするとか。それからもうちょっと下流の

砂のセグメントがどんな動きをするとか、こういう「ダム」というインパクトの中でほとんど変わらないような場所もあるし、それから一部ある特徴を持って変わる場所もあるし、それから結構活発に早く変わりそうな場所と、そうでない場所があるというようなことをある程度類型化して、示して、問題の所在とか、起こり得る問題の最初のスクリーニングをするということにこういう表を役立てたらどうかという、そういう意図の元にこういうものをつくりました。

それで下のほうにちょっと書いてありますが、「マイクロハビタットの視点」、「リーチの視点」、「セグメントの視点」というようなことにそれぞれ対応して、いわゆる河床の状況の変化、物理環境の変化、生物にそれがどんな影響を与えるかということ為準備段階で検討するために使えるんじゃないかと、こういう表であります。(図14)

それで、これを踏まえてさらに生物への影響を。では、今同じような領域Ⅰ、Ⅱとかありましたが、それで低移動性、高移動性とありましたが、こういう変化があるということがわかったら、では付着藻類に対してはどういう影響が起こり得るかなとか、

● 図14：想定される現象の絞り込みと予測手法の選定 a) 物理環境の応答

	障を材料mとする河道区間において、材料mとxとしてふるまう砂について (セグメントMやセグメントIを想定)	材料mを構成する障の挙動について (セグメントMやセグメントIを想定)	材料mを構成する砂の挙動について (ダムが置かれるセグメントM、その下流のGセグメント(セグメント1, 2-1)のさらに下流のSセグメントを想定)	障を材料mとする河道区間において、材料mとしてふるまうシルト・粘土などの細粒土砂について (セグメントMやセグメントIを想定)
領域Ⅰ (左上方)	・材料mを構成する障の間にある砂が比較的早く抜け出す可能性がある。 ・障生成に材料xとして堆積している砂が抜け出す可能性がある。	イ)低移動性 ・河床材料が従前(ダム建設前)と同じであり動きがよい状態が維持される。 ロ)高移動性 ・粗粒化がごくゆっくり、ゆっく、あるいは比較的早く進行する。ある程度あるいは若干の河床低下を伴う可能性もある。粗粒化が進んだ場合、材料mの動きの活性度が低下する。 ・河床低下が起こる場合、堆積層が薄いと露岩化が起こる可能性がある。 ・場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる可能性がある。	・Sセグメント内の上流から河床低下が進行する可能性がある。	・有意な変化が起こらない可能性が高い。
領域Ⅱ (左下方)	・材料mを構成する障の間にある砂がゆっくり抜け出す可能性がある。 ・障生成に材料xとして堆積している砂がごくゆっくり抜け出す可能性がある。	イ)低移動性 ・河床材料が従前(ダム建設前)と同じであり動きがよい状態が維持される。 ロ)高移動性 ・従前(ダム建設前)はそこそこ動いていた河床材料の動きがやや鈍くなり、この際粗粒化を伴う可能性もある。場合によってはほとんど動かない(この場合、粗粒化は伴わない)。いずれにしても、材料mの動きの活性度が低下する。 ・場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる可能性がある。	・Sセグメント内の上流から河床低下がゆっくり進行する可能性がある。	・有意な変化が起こらない可能性が高い。
領域Ⅲ (右上方)	・砂の挙動に大きな変化は起こらない可能性が高い。 ・材料mを構成する障の間にある砂が抜け出すとしても、ごくゆっくりである可能性が高い。	・大きな変化は起こらない可能性が高い。	・大きな変化は起こらない可能性が高い。 ・河床低下が起こるにしてもごくゆっくりである可能性が高い。	・有意な変化が起こらない可能性が高い。
領域Ⅳ (右下方)	・材料mを構成する障の間にある砂の量が少し、場合によっては相当増える可能性がある。 ・極端な条件では、砂が河床を覆う場所が出てくる可能性がある。	・材料mの堆積により河床(支川合流部などを中心に局部的に、あるいは一定範囲で)上昇する可能性がある。	・多くの砂を供給する支川の合流点付近を中心に、堆積により河床が上昇する可能性がある。	・底床の値が0の近傍にまで縮減に下がる場合、一時的に、あるいは相当期間、材料mを構成する障の間に細粒土砂がたまる可能性がある。
	マイクロハビタット 領域Ⅰ・Ⅱ	リーチ (マイクロハビタット)	セグメント (リーチ)	マイクロハビタット

底生動物はどうかとか、これはまだまだパッと即案できる話ではないんですが、とりあえず問題のスクリーニングという意味ではこういう見方で、どういふところに力を入れて調査をしたらいいのかということ、ある程度は事前に定性的でもいいから把握できるようにしたらどうかという、そういうことをここでは意図して書いてあります。同じように領域のⅡとかⅢとかⅣも同じようになります。

それで、最新の状況はどうかということは、第4回目の萱場さんからいろいろな話をしてもらえと思いますが、まずは全体を俯瞰する中でどういうところに問題がありそうで、どういう調査をしなければいけないかというあたりは、やはりあまり個別の物を見る前に全体の問題の特定をする見方も大事ななということでこれを書きました。

それから、これはちょっと古いので、もうちょっと今は変わっているかもしれませんが、では河床変動計算とか、河床の粒度とか、地形の変化をどうい

う手法でそれぞれの事象について、どの程度の信頼度を持って計算できそうかということをマニュアル風を書いてみたのがこれでありす。ここにちょっと最後にありますが、A・B・C・Dというのがどういふ手法かということですね。それから、添え字1・2・3が、技術判断に使える可能性がある、少し使える可能性があるとか、技術開発という点で試行する価値はあるが、技術判断に使えるかどうかの確認は不十分であると。このときに何をポイントにしたかったかと言うと、どれぐらいのものまではまああ行けるけど、ここはまだまだ行けてなくて、しかし非常に重要だからもうちょっといろいろ検討しなければいけないという、やはり突っ込まなければいけないところはどこにあるかということはある程度は見えるようになったらいいなということを用意して、かなり強引だったんですが、こういうことも書いてみました。(図15)

こういう中で一応曲がりなりにも土砂の全体の動

● 図15：想定される現象の絞り込みと予測手法の選定 b) 物理環境の応答+対応する予測手法

	河を材料mとする河道区間において、材料lやaとしてふるまう砂について (セグメントMやセグメントIを想定)	材料mを構成する砂の挙動について (セグメントMやセグメントIを想定)	材料mを構成する砂の挙動について (ダムが置かれるセグメントM、その下流のセグメント(セグメント1, 2-1)のさらに下流のセグメントを想定)	河を材料mとする河道区間において、材料としてふるまうシルト・粘土などの細粒土砂について (セグメントMやセグメントIを想定)
領域Ⅰ (左上方)	・材料mを構成する礫や石の間にある砂が比較的早く抜け出す可能性がある。 ・植生域に材料aとして堆積している砂が抜け出す可能性がある。 A₃ C₂ D₃	イ) 低移動性 ・河床材料が従前(ダム建設前)と同じであり動きが小さい状態が維持される。 ● ロ) 高移動性 ・粗粒化がごくゆっくり、ゆっくり、あるいは比較的早く進行する、ある程度あるいは若干の河床低下を伴う可能性もある。粗粒化が進んだ場合、材料mの動きの活性度が低下する。 ・河床低下が起こる場合、堆積層が薄いと露出化が起こる可能性がある。 ・場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる可能性がある。 A₁ B₂₋₃ C₂	・Sセグメント内の上流から河床低下が進行する可能性がある。 A₁	・有意な変化が起こらない可能性が高い。 ● C ₂
	・材料mを構成する礫や石の間にある砂がゆっくり抜け出す可能性がある。 ・植生域に材料aとして堆積している砂がごくゆっくり抜け出す可能性がある。 A₃ C₂ D₃	イ) 低移動性 ・河床材料が従前(ダム建設前)と同じであり動きが小さい状態が維持される。 ● ロ) 高移動性 ・従前(ダム建設前)はそこそこ動いていた河床材料の動きがやや鈍くなり、この際粗粒化を伴う可能性もある。場合によってはほとんど動かない(この場合、粗粒化は伴わない)。いずれにしても、材料mの動きの活性度が低下する。 ・場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる場合がある。 ● A₂ B₂₋₃ C₁	・Sセグメント内の上流から河床低下がゆっくり進行する可能性がある。 A₂	・有意な変化が起こらない可能性が高い。 ● C ₂
領域Ⅲ (右上方)	・砂の挙動に大きな変化は起こらない可能性が高い。 ・材料mを構成する礫や石の間にある砂が抜け出すとしても、ごくゆっくりである可能性が高い。 ●	・大きな変化は起こらない可能性が高い。 ●	・大きな変化は起こらない可能性が高い。 ・河床低下が起こるにしてもごくゆっくりである可能性が高い。 ●	・有意な変化が起こらない可能性が高い。 ●
領域Ⅳ (右下方)	・材料mを構成する礫や石の間にある砂の量が少し、場合によっては相当増える可能性がある。 ・植生域に材料aとして堆積している砂が抜け出す可能性がある。 A₂ C₂ D₃	・材料mの堆積により河床(支川合流部などを中心とする局所的に、あるいは一定範囲で)上昇する可能性がある。 A₂ B₂	・多くの砂を供給する支川の合流点付近を中心として、堆積により河床が上昇する可能性がある。 A₂	・縦断の値が0の近傍にまで極端に下がる場合、一時的に、あるいは相当期間、材料mを構成する礫や石の間に細粒土砂がたまる可能性がある。 A₂₋₃ C₂ D₃
マイクロハビタット 陸域植生 リーチ (マイクロハビタット) セグメント (リーチ) マイクロハビタット				
A 一次元の混合粒径河床変動計算 B 混合粒径平面河床変動計算 C 植生消長シミュレーション D 礫間にある砂の抜け出しに関する一次元計算 ● 一次分析(だけから判断する) 添え字1 技術判断に使える可能性がある 添え字2 技術判断に使える可能性が少しある 添え字3 技術開発という点で試行する価値はあるが、技術判断に使えるかどうかの確認は不十分である				

態から始まって、インパクトの一つの例としてダムのようなものに対してそのインパクトをどのように考えるかという、そういうことを技術課題で与えられたときに、どういう最初の整理方法があるかということ、この一連の枠組みで示すという提案をしたというのがここになります。それで、最初に基本的な材料の見方から始まって、ある程度こういう曲がりなりにもトータルをつなげるような議論をしてきたというのが今までの話の主体です。

それで一つだけ、土砂管理上、大事だと思われる個別の話なんです、この図だけ説明しておきたいと思います。これはどちらかと言うと今日の私の話の中では、山の中の河道にとっては、あるいは礫の川にとっては通過型の材料であるところの、せいぜい材料「s」とか「t」になるかどうかというぐらいの細かい材料の話です。それが、流量に応じてダムがないときには、こういう濃度で供給されていく。これが自然の姿だとします。それがダムができて、いっばしの大きなダムだったら、ちゃんと土砂を補足しますので、ほとんど泥が出なかった。(図16)

それでこれからやっぱり自然を含めても然り、ダムの機能自体の持続可能性の確保も然り、やっぱり土砂を出そうとしたときに、やっぱり量的には礫よりも砂とかシルト・粘土が多いので、そっちを出すと非常にボリュームが稼げるんですね。そうすると方向としては、こういう細かな土砂を再度、昔のように出そうという議論が当然出て来ます。この辺がたぶん、櫻井さんが話をされるとと思いますが、土砂

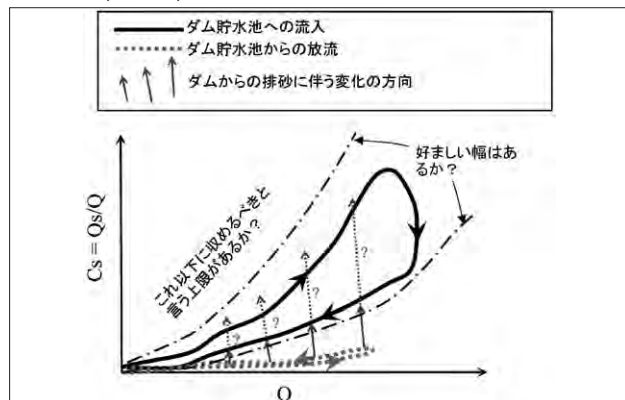
のコントロールをどのぐらいまじめにやらなければいけないかということを考えるひとつの道具としての図になります。

すなわち、ではこれは自然のサイクルであって、今はゼロにしたと。それでゼロからもう一回戻すときに、こういう自然のサイクルにすれば理想的なのかもしれないけれど、やっぱり排砂技術の持っている特徴がありますから、こんなふうにはならないかもしれないと。では、これがさらにずれたときに、どこまでなら特に河道の河川環境を考える上で、というレンジならば許されるのか。好ましい幅はあるのかとか。これ以上はコールゾーンには絶対に入ってはいけないというようなものがあるとか、こういうある種、環境のスペックのようなものを、河道を管理する側から排砂技術の側に提示するということがこれからは非常に重要になってくる。そういう意味では、それを技術的に共通の理解として双方が議論し合うたたき台として、例えばこういう環境スペックを土砂について議論する図のようなものをこれから種々検討していくということも重要なことなので、そのひとつの例示としてこういうものを出しました。

以上が資料1の捉え方の基本、それからインパクトに対する応答から、ダムということの一つ例示に上げたということになります。

資料2（流砂系現況マップから粒径集団別流砂系現況マップへ展開させる取組）と資料3（斐伊川への土砂供給の長期的変遷の推定）は少しトピックス的な話です。飛ばした話として、「流砂系現況マップ」という話があります。それはなぜかということ、2002年の段階でこれも大変な苦勞をして「流砂系の現況マップ」というものを作りました。これは見れば、こんなものかな、ということかもしれませんが、大事だと思いますので、何が書いてあるかということ、ある水系でダムにどれぐらいの土砂が溜まっているか。それから、図中の○が流域内の総堆砂、それからこれは改修のためとか、河川整備のため、それから砂利採取とかいろいろありますが、河道から直接、

●図16：C(=Qs/Q)～Q関係設定の重要性についての説明



土砂をどれくらい外に出しているかを示しているのが図中の三角マークです。それから河床がどれくらい上がったか、下がったか。「あまり変化なし」、「堆積傾向（1m以上堆積）」、「低下傾向（1m以上低下）」に区分して評価しています。さらに海岸がどう侵食しているか。それから砂防の荒廃のエリアの状況。これを全部まとめて1つの図にして書いたのがこの図であります。（図17）

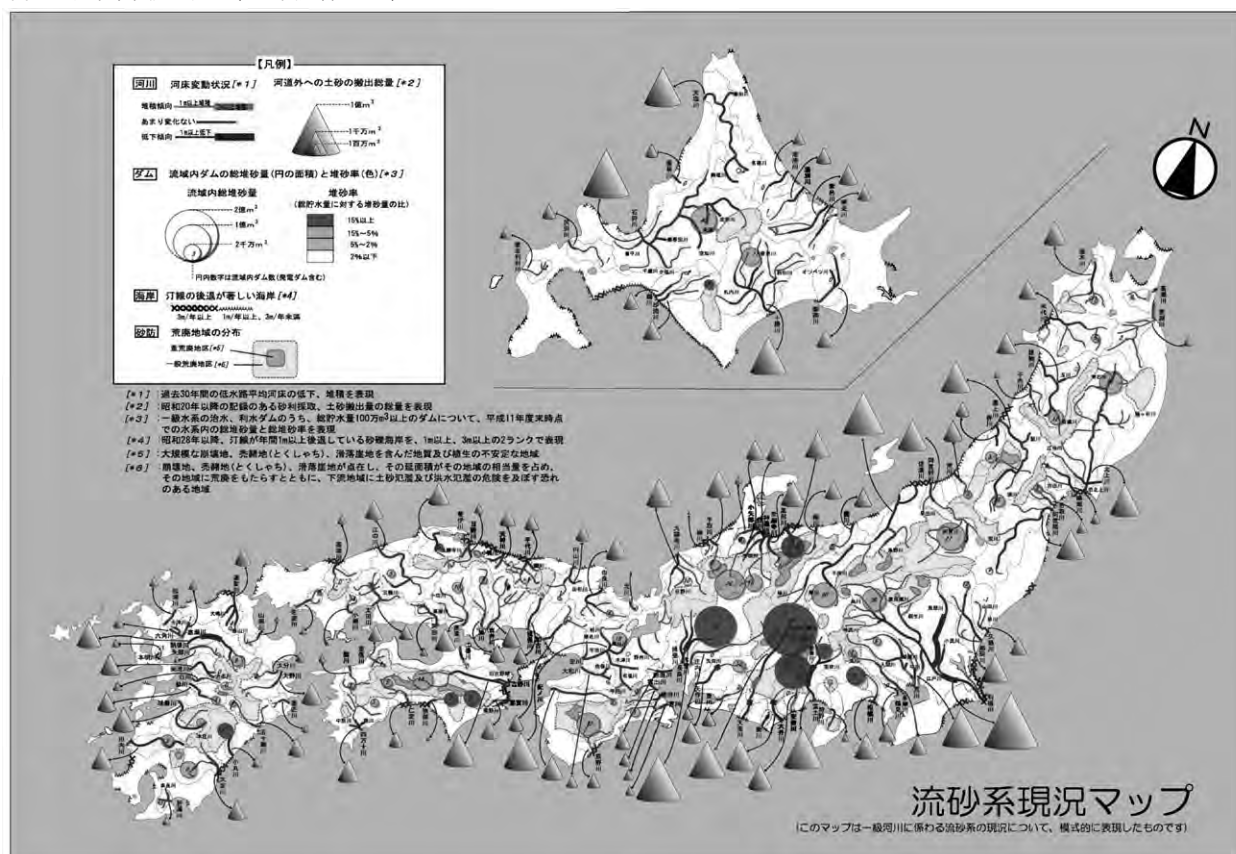
それで、これを最終的には収支とかそういう方向に持って行く必要があるんですが、まずはトータルで自然の状態をバックグラウンドにしながら、この50年ぐらいでどのように土砂の動態を変えてきたのかということを端的に俯瞰するものとしてこういうものをつくったということです。

しかしながら、これは先ほども言いましたように、今日の話の中で粒径集団別で物を見て行くということが必須だよという話をしました。それから、これだけのデータですから、やはりもうちょっと精度を上げる。いろいろな改善の必要性があるわけですが、

現在はそれをバージョンアップしようとしています。それが資料2です。（図18）

何をバージョンアップするのかというと、まずもう一回データを洗い直してさらに精度を上げる。これは当然です。それから2002年から2014年ですから、その後のデータもちゃんと入れようということです。さらに、図中の三角マークと〇と、それから河床の低下・上昇は同じなんですが、粒径別に全部仕分けをしようということで、例えば川から外に出したものを礫と、砂と、シルト・粘土でちゃんと分けて表示しようと。ダムも礫と砂とシルト・粘土に分けて表示しようと。それで河道も、その河道は主にどのような材料からなっているかということで、ちゃんと分けて表示しようというように粒径集団別に、もちろんトータルはあるんですが、ある程度は行ける範囲で粒径集団別に今の表示を細分化して、それでもう一回全国の図にしてみよう。それで、かつある程度は土砂の話も、ここに入り得る土砂の話もあわせて書ければいいんじゃないかと。このような

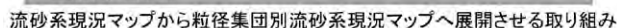
● 図17：流砂系現況マップ（国土交通省 2002）



それともう一つトピックス的な話として、これはちょっとシンボリックに書いているので、まだまだ詰めが必要ですが、逆にこういう情報はもっと必要だと思いますが、土砂の人為的なインパクトの話になると、すぐにダムがどうしたという話になるんですが、ではもともとはダムとか、主に高度成長期を中心にこういう顕著な施設がつくられたというインパクトはあるでしょうが、その背景としてそもそも200~300年ぐらいのスケール、あるいはもうちょっと遡って500年ぐらいのスケールで、土砂というのはそもそもどのように供給量が変化してきたんだろうかと。その視点はやっぱりどうしてもまだ情報が足りないということを痛感しております。

(図19)

● 図18：流砂系現況マップから粒径集団別流砂系現況マップへ展開させる仕組み



例えばこういう図がいろいろな川で大なり小なり
 こういうパターンがあるとすると、一体今ダムの影響
 という話を散々してきましたが、案外それはこの
 辺だけの話を見ているだけで、ここからトータルで
 見たときのこういう話とか、その中で相対的にダム
 の影響はどうなのかとか、トータルで見るような情
 報をさらにどうやって我々は集めたらいいかという

Figure 6. Yearly variation of sediment volume deposited in the Lake Shinji every year.

道上、鈴木、定道：斐伊川の土砂収支と河床変動の将来予測、京大防災研年報23号B-2 より（加筆）

500年?前～現在

のは、やっぱり次の大きな課題ではないかと感じて、あまりこういう情報を私自身はよくわかっていないのでシンボリックに出しましたが、この手のものをもうちょっと一生懸命に調べる努力は必要だなということをコメントしたくてここに載せさせていただきました。これが表3です。

資料4は河川砂防技術基準の話になりますが、実はこれは一昨年に大改定された「河川砂防技術基準」の詳細におきましては16章に、「総合的な土砂管理のための調査」という章が設けられて、実は今までお話をしたような基本的な物の見方とか考え方は結構盛り込まれております。ですから、これを全部逐一、紹介する必要はないんですが、そういう中で、少し全体論の中で特に「土砂管理の進め方」というところに関係するところですのでく大事なことだけご紹介すると、それが資料4の1・2の「基本方針」というところです。

3つの要件が大事だと謳っています。1つは、対象とする流砂系の全体像を捉えること。これはまさに粒径集団とか、通過型、混合型のようなこともひとつのひな形になるかもしれません。とりあえず、とにかく全体像を捉えるということを意識しない

と、山地部とか、沖積河川、海岸、それぞれで慣れ親しんだ方法論だけだと非常に全体の見通しが悪くなるので、これを徹底的に意識してくれということを第一要件として上げて、先ほどの粒径集団の見方等もここで紹介しています。これが1つ目です。

それで2つ目が、問題をはっきりさせることということです。当たり前なんですが。これは我々の話も含めてですが、何か「総合土砂管理」ということ自体が目的になってしまって、本来起こった問題の改善、解決が目的だったり、あるいは今後起こり得るかもしれない問題に対する予防的、先取りの対策、これも立派な目的なんですが、いずれにしても課題として認識している問題があるんです。その構造をはっきりさせて、かつそれが流砂系のどこが、どのように悪くてそういう問題を起こしているのかと。これをやっぱり相当徹底的にやらないと、非常に何かせつかくの努力がおかしなことになるということで、これは非常に当たり前ですが、どうしても書いておくべき大事なポイントではないかと当時、大分議論をしたところであります。

それで最後の3つ目が要素技術です。これは当たり前なんですが、意外にここが甘いことが多いです。

●表3

都府県人口急増に対応した 施策群展開の構造の整理例 問題解決に向けた施策の駆動部 施策駆動にかかわる外部要因 システムの 持続可能性														
施策群	外力原因	問題認知し べル		施策検討・実行の 駆動力／各 Playerの応答性			道具立ての状況			他目的 の施策 (群)との 相互影 響	利害関 係者の 合意	環境へ のイン パクト (含: 持続可 能性)	流域の 地理的 条件 (流域 の容量 など)	問題解 決に資 する出 力
		予測 から	発生 状況 から	政府 ☆	産 業 界	国民 住民	技 術	資 金	制 度					
水資源開 発／流域 拡大	人口急増／強烈	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
低水消費 型生活ス タイル				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
低水消費 型産業				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
水利用の 転用				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
人口配置 制御(国 土計画)				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

※第35回環境システム研究論文発表会講演集 2007年10月 pp.111-121より

何かやってあげればいいみたいなことについてしまうんですが、結局、それぞれの要素技術が総合的な土砂管理を通じて課題解決にどうつながるか。これははっきりさせなければいけないし、本当に現場で使えるのか。種別だけは合っているけど、その適応性が甘かったり。ましてやここがいい加減だと話にならないので、意外に我々は要素技術についてもしっかりどういうもので持ち得ていて、何がだめで、では期待を持ってある程度開発できるものは何なのかということをもう一度見ないといけない。新たな要素技術開発に。この辺をしっかりとやりましょうねという話を書いてあります。

それで今言った3つというのは非常に相互に関連していて、これまた難しいんですが、俯瞰だけを一生懸命にやっても何かおかしくなるし、問題だけを掘り下げていてもだめだし、要素技術だけをやってもだめだし、3つの話をバランスよくやらなければいけないと。これは当たり前のことですが、そういうことを時として全体を見ながらうまくバランスよくやってねということをここに書いてあるわけです。

それで、これは調査編ですから、調査の基本的な立ち位置として何を考えておくべきかという問題に終始しているんですが、今日の話の最後に、これは私の考えも含めて少し頭の体操になりそうな論点の提示をしていきたいということです。

まだ本格的に動いていないのか、いろいろ議論があるかもしれませんが、ちょっとわかりやすくするためにこう書いてあります。もっと本格的に動かしたいなという願望も入っています。それで、こうあるべき論を超えてというのは、総合土砂管理というのはとても格好よくていいんですが、河川屋さん的には何と言うか、本当に原点のようなところで、皆が大事でということですが、その割にはできるのはとても立派なんです、本当に動くことをあまり真剣に考えられていない場合もあるんじゃないかということで書いております。だから、個人的にはできれば、もう辟易としているので、どうやったら早く

動くのか考えようというところですよ。

これはちょっと後ろのほうに論文をつけていますが、オリンピック渇水というのが、昭和39年、1964年のオリンピックのときに首都圏で大渇水があったんですが、あれがなぜうまく切り抜けられたのかということを、当時の国総研の部長さんとか皆で議論して、かなり強引ですが、ちょっと後づけのような理屈なんです、こんな図をつくりました。これはここの軸が、まず問題を起こす外力が作用します。これは人口の急増と渇水です。では、それが何がどう問題なのかということがちゃんと技術的・客観的に認識できていたか。予測、あるいは実際に起こっているという事実がある。こういう問題です。それから施策を検討し、実行する駆動力、あるいは各プレーヤーは応答せよ。政府だったり、産業界だったり、国民住民だったり、こういう人たちがちゃんと応答できたのか。それから応答しても方法だけではしょうがないので、道具立てはちゃんとあったのか。技術はあったのか、資金はあったのか、制度はあったのかいろいろありますが、こういうことです。

それで縦軸は、これは実際にやった方策で、結局、水源開発を、最後に流域を拡大したんです。だけど、それ以外に選択肢は幾つかあったかもしれないけれど、主にこれが切り札として挙げたわけですが。さらに施策の駆動にかかわる外部要因として、多目的な施策との相互影響、これは相利的な、つまりお互いに利する関係なんかになると、これは追い風になったりします。それから利害関係者の合意。それから環境へのインパクト。当時はこれはあまりなかったのかもしれませんが、今だったらすごくある。それから流域のそもそもの地理的条件、それをできる容量があったかどうか、こういう議論です。

これはほとんど後づけなので、取ってつけたように見えないこともないんですが、頭の整理として見ると、やはり結果的にやった施策は全部追い風っぽい、右に行くのが将来にわたって十分に味方がたくさんいたなということです。一方で、例えば水の使い方を減らせとか、そういう話はなかなかそれぞれ

の各パーツに結構抵抗が大きくて、そう簡単にはいかなかったのかなという整理をしました。(表3)

これは何が言いたいかというと、ある場所の堤防をつくるとか、ある個々の局所的な事業の話ではなく、かなり流域全体を巻き込んで総合的にやれるようなことを仮にも本気でやろうとするならば、あれはやっぱり非常にある種体系的な問題を促進する要因もあれば、その課題の解決に向けた取り組みにとって逆風もあると。それをトータルでうまく課題を潰していかないと、検討で終わってしまうという構図があるのではないかと。

それをそのまま当てはまるかどうかわかりませんが、総合土砂管理についても「総合」とついているぐらいで、ある意味では流域のいろいろなプレイヤーが絡みながら全体としてある目的を持ってやっていかなければいけないわけですから、こういう少しどうやって各プレイヤーを本気にさせるのかとか、その辺の物の見方をさらに真剣に考える必要があるんじゃないかということを書きました。

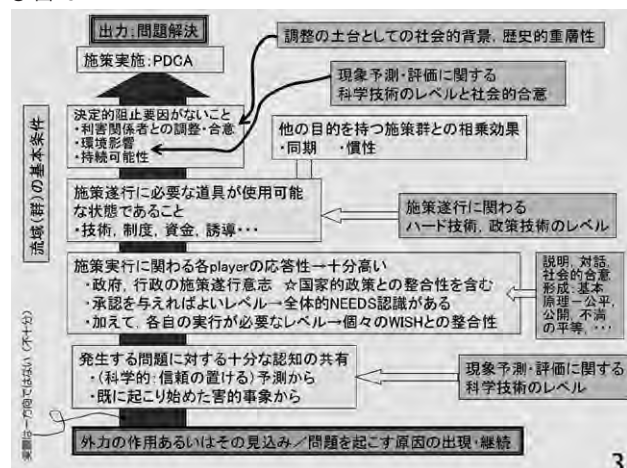
これをちょっとフローにしたのがこれです。問題を起こす原因、出現、継続、それで認識がちゃんとできたか。それからプレイヤーの応答性があるか、必要な道具があるか、決定的な阻止要因は何か、環境影響とか。こういうもので見たときに、では土砂管理というのは個々の流域で目指している土砂管理はどのようなレベルに今あるのかということを少し引いてというか、客観的に見るということも重要な

ではないかということで、問題の提起ということで書きました。逆に言うと、総合土砂管理というのはこれぐらい結構いろいろな人を巻き込む重要かつ大きな施策の方法論を導入しなければいけないのではないかと、少し提示して書いたということもあります。(図20)

それで先ほど技術基準の調査A・B・Cがあると書きましたが、最後にBの、ではどうやってそれを回していくのかというその辺の話に入ってきています。今はここがすんなりスーッと土砂管理について流れていけるだろうかというように見たときに、やっぱりそう簡単に行かないところがたくさんあるように思います。それを少し例示的に上げたのが、この辺のポイントBの、実践するための論点としては何があるかというところの例示であります。(スライド1)

ひとつは、これも大分議論がいろいろされているところではありますが、昔に戻すということは、結論から言うと錦の御旗には必ずしもならないよと。ダムがない時代がいいと理念的に言っても、では本気でそうしたら全てがよくなるかというと、そう簡単な話ではない。それでもっと言うと、ダムによって非常に良くなった面もたくさんあるわけですし、ニュートラルかもしれないけど、そういう環境の変化を経験してもう数十年経った。そうすると、それをまた変えるのかということに対してやっぱりいろいろな抵抗がある。この辺をどう考えるかというこ

● 図20



● スライド1

総合土砂管理について言うところ

- ・ [A] 流砂系の全体像をいかにとらえていくか
流域～沿岸域全体に通じる“共通言語”の確立
- ・ [B] 問題の構図の把握、そこでの流砂系の位置づけの理解
経緯を起した原因・構図の明確化
流砂系管理が問題解決にどうつながるか？
- ・ [C] 個別技術開発
どのような個別技術が必要か？
予測・評価手法（災害リスク、流砂系の健全度、生物・生態系への影響、維持管理能力）
流砂系を操作する手段；たとえば、ダムから排砂する技術
- ・ [D] 技術政策への展開：実践へのアプローチ
目標設定、流砂系管理の計画論、合意形成
局所最適化と全体最適化の調整、時間軸での平等性確保、人間の時空間認知の境界の克服

4

とも非常に重要である。あるいは、もう川自身が変わってしまうとか、それから流域の社会的状況も変わってしまうとすると、いきなり土砂だけ50年前に戻してくれ、それが絶対に賛成すべきだという話はなかなか難しいかもしれない。そうすると、昔に戻す戻し方、あるいはどこまで戻すのか、あるいは必ずしも昔に戻すのでなくて、次の新しい環境をつくるみたいな話で攻めていったらいいのか、この辺が意外に整理されていない。未来志向との関係ですが、この辺の話があります。(スライド2)

それから、非常に時間がかかるとすると、もう待ち切れないと。この辺をどうしたらいいのかというのも、単純な話としてある。50年先にこうなると幾ら説明されても、それで何か皆その気になるのかなという、こういう議論があるかもしれません。その辺はもしかしたら先ほどの粒径集団のレスポンスのような話とも実は技術的にはかかわってくるかもしれない。

それから、誰がやるべきなのか。格好よく「皆、総合なんだから皆で頑張って、手を取り合ってやりましょう」というのはいいかもしれませんが、もしかしたら一番困っている人が、あるいは力のある人が強引に引っ張るというやり方もあるかもしれない。この辺も作戦としてどうしたらいいのかというのも、もうちょっといろいろとケースバイケースで考えていかないと、どうも手を取り合ってというのは意外に何かそれでは済まない感じが私はしているので、この辺は何か議論があるかなと思います。(ス

ライド3)

それから、関連ですが、さほど困っていない人の消極的な態度をどうするか。変わることに、変えることへの抵抗感。

それから、技術的にはやっぱり非常によくわかっていることと、まだ全然わかっていないことが結構まだらにあります。そういう中で総合的に進めていくということになると、どうしても技術分野とか懸案によっては見切り発車が出て来ます。そういうものを全部確認してからやれということになると、めちゃくちゃ時間がかかってしまう。ではこういうものに対してどのようなスタンスで臨めばいいのかということなのです。

それでちょっと飛んでしまいましたが、よく「アダプティブマネジメント」という話があって、要するに少しずつやりながらやればいだろうと、見試しでと、そういうのがあるんですが。では、ダムから土砂からすごくバーンと出すすごくハードな施設をつくってしまうと、それだけで大変な事業になりますから、それを「見試し」と呼ぶには無理があるねと。そうすると、こういう本物を扱う事業、プロジェクトで見試しなんてそもそもあるのだろうか。そうすると、ある種、厳密に全てを詰めてからやらなければいけないんじゃないかと。そうすると、やたらに時間がかかってしまう。この辺をどうしたらいいのかという、こういうちょっと悩ましい問題もあるかもしれないということでもあります。(スライド4)

それで、難しいと言ってもしょうがないから、少

● スライド2

治療の目標：健康とは？

ポイント(D)

- ◆「昔に戻す」が錦の御旗になりうるか？ 流砂系を変質させるインパクトが作用してからの数十年の重みを具体的にどう考えるか？ 周り（社会的、自然的状況（河道を含む））は変わってしまったのに、あるいはインパクトの存在が種々の前提になっているかもしれない状況で、システムの一部だけ昔に戻すとすれば、そこに課題は発生しないか？ 未来志向との関係は？
- ◆治療効果が現れるまでの時間が非常に長いとすると、人は待てるか？ その間に自然条件や地理的条件が変化することをどう考えるか？

6

● スライド3

治療の担い手

- ◆施策遂行には、特定の牽引車を設定すべきか？→一番困っている人が引っ張る、あるいは、一番実行力のある人が引っ張る！ それとも、全体的なあり方論の下で、皆で手を取り合って進むのを基本とすべきか？
- ◆自身は（今のところは）さほど困っていない人の消極的な態度にどう対応するか？
→変える、変わることへの抵抗感への対処、まだら模様の問題認識への対処。

治療の基本スタンス

- ◆「総合的、統合的に取り組む」は風上に置くか、風下に置くか？ 両方だとしたらその置き方は？

7

し整理すると、そういうことを考えていくと、これは実際にそうになっているかどうかは別として、やっぱり問題認識を少しシャープにする上であえて書きました。こうなってほしくないなということで書きました。

一つは、理念に支えられた基本方針はよいとして、それを具体的なアクションにつなげる道筋、実践的論理が弱いままになっていないか。だから総合土砂管理というのは基本方針が書いてあるけど、どうやってそれを具体化するかというところが急に尻すぼみになっていないかという問題です。

それから、取るべきアクションを議論できる具体的でわかりやすい目標設定が意外とできていないのではないか。中間だけだとすごくわかりやすい大事な目標、中間的な目標が不在になっていないかどうか。漠然とした目標しかない辛い、これが2点目です。(スライド5)

それから全体として何をどこまで達成しなければいけないかという、プロジェクトとしての必達成性が不明確なままになっていないか。できたらやりたいとか、技術的に可能ならやるかもとか、まず検討すればいいとか、ずっと検討するのかと。方向だけ正しければ、まず何か実施すればいいのかとか、意外にこの辺も明確化しているものがないなというのが3番です。

それから必須技術について、必要性和可能性の整理が不明瞭で、技術の見切り、見切りルールが不十分ではないかと、あるいは技術への要求提示が甘い

ままではないか、これは先ほどの要素技術ということが当たり前ですがとても重要で、でもどう重要なのかということを十分に提示できているかという問題にもつながっていると思います。

それから過去から積み上げてきた各技術検討が、最終的なアクション実施にどうつながるかの全体像が不明瞭なままである。その時々直面した検討をやりっぱなしになっていないか、こういう問題もあるかもしれない。

それで、先ほど50年も先によくなりますと言われてもなという話とかかわりますが、最後のほうですが、高邁な目標はさて置いて、眼に見える第一歩の成果、目標に照らして意味のある、皆で実行することの大切さが意外に軽視されていないか、例えばこういうような、少し議論をわかりやすくするために問題に陥らないためにはどういうことをしたらいいかという、いろいろなやり方もあるかなということで、ここで書きました。

それでここから先は、1つのいろいろなサンプル事例であります。それで何か具体の何かがあるということではありません。ただ、先ほど陥ってはいけない話だけをしてもしょうがないので、ひとつの思考訓練としてちょっと念のために書いてみました。前提は判断、やはり埋まっていって大変だと、ダム機能の持続可能性の確保を、これは中間的な枢要目標として対策みたいなものを組み立てたらどうかと、ちょっと問題を無理無理設定してしまいました。つまり、本来は総合土砂管理というのは皆がよくなる

● スライド4

治療の進め方：知見不足への態度

- ◆現象予測技術について、たとえば、A：大体わかるもの、B：予測シナリオはあるが実証されていないもの、C：可能性についての定性的な表現にとどまるもの。の3つに整理したとして、知見のレベルがABCで斑模様になっている中で施策(群)を進める戦略を持ち得ているか？
- ◆問題の構図把握や解決法を見出すための調査研究と実践とのバランスをどう取るか？ このバランスの取り方についてどう合意していくか？ 問題はいつまで待ってくれるか？
- ◆やりやすい治療を優先的に進めることの適否。
- ◆「実験的取り組みとモニタリング・逐次評価」(みだめし)がリードしていくやり方を探り、これらを前提に順応的管理(アダプティブマネジメント)を行っていくことを施策(群)の幹にするというスタンスは魅力的だが、課題はないか？ →実験に「がっかりした」ハード施設が必要になる場合、順応的管理という枠組みとの整合をどう取っていくか？
- ◆リーダーシップとは？

8

● スライド5

はまりやすい陥穽の例

- I. 理念に支えられた基本方針はよいとして、それを具体的なアクションにつなげる道筋(実践的論理)が弱いまま。
- II. 取るべきアクションを議論できる 具体的でわかりやすい目標設定ができていない→「中間枢要目標」不在。漠然とした目標しか無いまま。
- III. 全体として、何をどこまで達成しなければならないのか？というプロジェクトとしての必達性が不明確なまま(やらなければならない？できたらやりたい？ 技術的に可能ならやるかも？ まず検討？ ずっと検討？) 方向性だけ正しければ、まずは何か実施すれば良いという甘えも。
- IV. 必須技術について、必要性和可能性の整理が不明瞭で、技術の見切り、見切りルールが不十分、あるいは、技術への要求提示(中味、期限)が甘いまま。
- V. 過去から積み上げてきた各技術検討が、最終的なアクション実施にどうつながるかの全体像が不明確なまま → その時々で直面した検討のやりっ放し。あるいはバラバラ整理状態が続き、互いにつなげてアクションのための判断に持っていく意識が希薄なまま。
- VI. 高邁な目標はさておき、目に見える第一歩の成果(目標に照らして意味のある)を皆で実感することの大切さが軽視されている。

9

ためとか、昔の環境復元とかいろいろあるんですが、いろいろなことを言っていると何だか焦点を絞れなくなるので、まず優先順位として持続性が危なくなった、あるいは機能を絶対に高度化しなければいけない、あるいは回復しなければいけないとか、そういう目標をまず中間的だけど一番重要な目標にして対策を組み立てるという方法をとれないだろうかという、ひとつのポイントです。

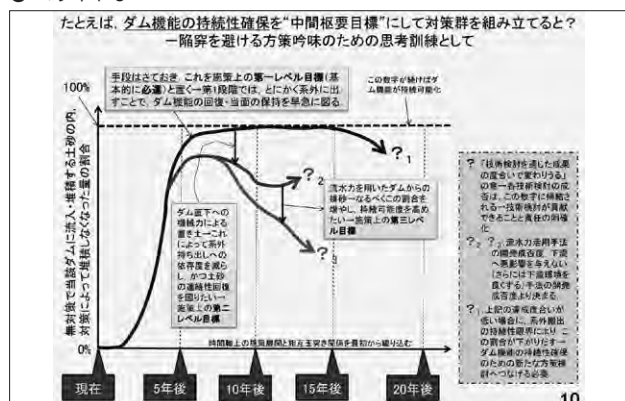
そのときに、要するにどんどんダムが埋まってしまっているんで、それをまずは手段はさておき、来た土砂をとりあえず何でもいから外に持って行こうと。それでダムの容量はこれ以上は減らないようにすることをまず実現しようというのが、この紫の線です。これはそういう方向ですから、結構エネルギーも二酸化炭素も排出しながら、しかも流域のどこかに土砂を置かなければいけないわけですから、未来永劫続くわけではないですが、もしかすると15年ぐらいは例えばできるかもしれない。それで、とりあえずダムを助けなければいけないという話を、例えば中間枢要必達目標に置いたとして、このままだと技術的にやっぱりもたなくなるので、ではその第2の目標としてダム直下へまずは土砂を、ただ単純に外に持ち出すのではなく、ダムの直下に土砂を置いて、それで連続性ということを徐々に付加していけないかと。さらにもっと格好よく流水の力を使って、なるべくエネルギーを使わないでスーッとここに落とすようなことができないか。これを第3レベルの目標として、それぞれ書くには書いてあり

ますが。(スライド6、7)

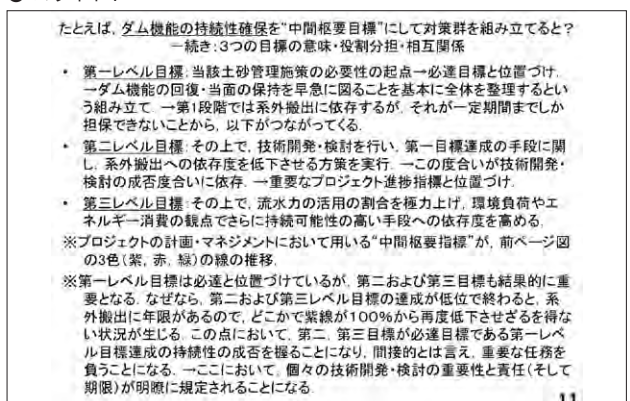
図中にクエスチョンマークがありますが、これがどういう技術にちゃんと取り組んでうまく成果が出れば、どこの数字がどう変わるということの関係をはつきりさせるということが1つと。それから、とりあえず一次目標にしてしまったラインですが、これも単独で成り立っているのではなく、他の取り組みがうまくいかないといずれ置き場所がなくなってしまうから、これさえも危なくなるよという、どれぐらい、何のために、いつまでに1と2の目標を頑張らなければいけないのかみたいなことが、この必達目標との関係で何か明確にしながら、さっきのどういう要素技術を、どのような優先順位で、いつまでに、どういう見切りをするぐらいの精度ではつきり検討しなければいけないかということ、もうちょっと明確にするような議論にしたらどうかということ、この図のようなもので少し議論するネタかなと思って書きました。

もちろん、これだけでは全ての方法論ではないんですが、先ほど見ていただいた嵌りやすい落とし穴に対して、あえてもうちょっとドラスティックに本気で物事を進めるためにはどういう手のつけ方があるんだろうかということ、それぞれ各ケースに合ったやり方で具体的に考えていかないと、いつまでも「全体的なバランスを」、「総合的に土砂をよくする」という漠とした目的では非常に厳しいのではないかとということで、あえてひとつの取っかかりとしてこのような作業目標をわか

● スライド6



● スライド7



りやすく示すような、そういう発想でのフレームができるのかなということをちょっと考えてみたということであります。これは今説明したことを文書で説明したものです。

それでひとついいかもしれないのは、例えば見試し効果を期待して、とりあえず土砂をダム直下に置いて、それで洪水で流される。それが環境上どうだとか、治水上、維持管理上で問題はないかというのを見ながら、この出し方について議論ができる。あるいは、出た結果を見て、効果が実感できるんじゃないかという、ここは「玉突き効果」と書いてありますが、何か物事を進めて行く上で一方向的にやって、「ハイ終わり」ではなく、これをやって、その結果これが見えてくるので、それが少しさらに物を進める駆動力になるんじゃないかみたいな、何かそのような仕組みを進め方に折り込めるともうちょっと何かあるかなと。この図面だけが全てではないんですが、そういう発想も含めてやり方の議論を少し進化させられないかなということを、最後に論点として申し上げました。(スライド8)

今日のお話は少し基本論的なお話で、今まで整理してきた話をこういうまとめたものを、やはり一回ちゃんと共有しておきたいということを主眼に、資料別にお話をさせていただきました。最後のパートのところは、それを踏まえた上で、何か総合土砂管理が今抱えている本質的な問題がどこにありそうかということの認識をシャープにするということに役立てられないかということで、こういう話をしながら

らひとつの思考のトレーニングのネタとして、こういうような進め方についてはどういう議論があるんだろうかということを皆さんと議論したくてこういう話をさせていただきました。

それで最初に申し上げましたように、基本的になり俯瞰的な話が多かったので、一応個々の話をどうしていくかという話もそうですし、先ほどの要素技術の話ですとか、土砂と環境の話とか、そういうさらに突っ込んだ話については冒頭に紹介しましたように、服部さん、諏訪さん、萱場さん、櫻井さん、内田さんに期待しているところではありますが、最後に4回目のところでそういうものがグルッと回ったときに、今日の時点とは少し違った全体の議論ができれば、多少なりともこのセミナーが皆さんにお役に立つのではないかと期待しています。どうもありがとうございました。(拍手)

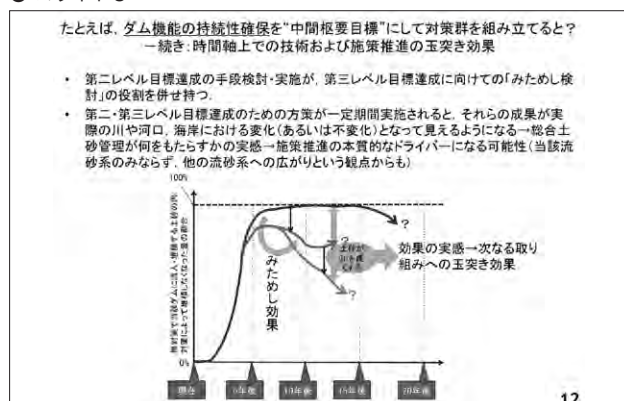
<質疑応答>

質問者1 非常に勉強になりました。

土砂管理の仕事を進めていてよく技術的なところ、解析とかモニタリングのところは結構議論が活発になるんですが、理念のところ、目標とか課題は何なのかという話になると急に皆意見が出なくなったり、まとまらなくなるということがよくあるんですが、その中で去年、私が経験した中で、誰のために総合土砂管理をやるのか、という視点が意外とはっきりしないのかなというのがありまして、行政だと事業の改善、できる範囲でどのように改善していったらいいかということをやうたうというスタンスだと思いますが、学識の方などに聞くと、それは地域の皆さんが例えば昔の礫河原に戻してほしいとか、広い砂浜に戻してほしいとか、そういう要望にも応えるべきものだという意見もあったりして、目標とか課題は誰のためにやるかということが揺らぐと全然決まらないというところがありまして、それについてご意見があればお聞かせください。

藤田 一番大事なところのひとつだと思いますが、あえて言うと、私はここで言う一番困っている人

● スライド8



が頑張るというのが結構大事なんじゃないかと思ったりするんですよ。それはいろいろな意見が出ますよね。やっぱりばらばらになるんです。それで、それをうまくすくい上げて共通項を見出すということは当然やらなければいけないんですが、誰かが本気で回そうとしないと、これは大変な仕事の取り組みですから、議論で終わってしまうんじゃないかなと。それが誰なのかというのはいろいろあると思いますが。

例えば今日はかなり強引にこういう事例をあえて上げたのは、これは明らかにダムの管理者がめちゃくちゃ困っている。あるいは国策としてダムの再生を図らなければいけない。これを起点にあえてしてしまったんです。それで、しちゃったのはたぶん、責任を持って、力があって、切羽詰まっている人はそういう人だと仮定すると、その人たちは一応技術もあるし、事業制度もあるから頑張るだろうという、まずそういう人たちにやらせてしまえということにしたときに、そこから先が大事なんです、そのときにそういう切羽詰まった人がやるときに、それだけで終わってしまったらもったいないので、その力を本来の総合土砂管理の理念にうまく浸透するようなやり方を、だからその人に頑張ってもらいんだけど、それを皆でうまくサポートして、結果的に少しずつ全体がよくなるような方向に持っていけないかという話です。

だから、まずはダムを助けないといけないんだけど、それをずっと続けるのは芸がないから、そうこうしているうちに技術屋さんが頑張って、まず土砂を仮に置いてみて、そのうちに排砂技術もちゃんとやって、でも土砂を仮に出したら維持管理がおかしくなるんじゃないかとか、環境がかえって悪くなるんじゃないかとか、あるいはよくなるのかというこういう両方の意見がありますよね。そうしたら少しずつ皆で試してみて、「いいよ、結構これを置いたらよくなるよ」とこの人に言ってあげて、だからこれだけじゃなくてダムの下流に置く量をもっと増やしてくれとか、こういうようにグルグル回し始める

ようなそういうような仕組みをよほど念入りに組み込んでおかないと、何が良いかなんて議論してもたぶん結論が出ないんじゃないかと、私はちょっと墮落してしまって、そう思っているのです。

ひとつは実行力のある人にやらせて、それで皆で文句を言いながら何となく結果がよくなるというやり方もあるんじゃないかと。それ以外に何か情報がありますかね。そこが一番大事なところだと思います。

それでおもしろかったのは、ある委員会で自然環境をいろいろ研究されている方に、ではあなたはいつの時代の土砂に戻したらいいんですかと。では、このダムができる前がいいんですか、それとも今がいいんですかと聞いたら、なかなかそれは難しいですねと。すごく議論がうまくできなかったんです。だから、ちょっとそこは今の話を、答えをその路線で詰めるのもいいかもしれないけど、ちょっと絡め手かもしれないけど、物を動かすことで少し議論が整理されるような仕組みを入れるというのも一つの方法かもしれない。でも私だけでは答えは出ないので、そこは皆で考えなければいけないと思います。ただ、その課題認識を持つことが非常に出発点として重要だと思います。うまく答えになったかどうか。

質問者2 講演をありがとうございました。先ほどのご質問に関連するんですが、一般的には下が海岸に近い川が直轄区間で、ダムが直轄というケースが多くあるんですが、上流側のダムが例えば自治体だったり、電力会社だったりとか、そういうことになかなか上流側のダムをどうするかという議論がなかなか進まないような場合がよくあると思いますが、そういうケースは結構難しい問題なんですが、ちょっとご意見を伺いたいと思います。

藤田 それは行政制度の話になってくるので、そっちを答えるべき人が答えればいいんじゃないかなというように思いますが、理論的にはやっぱり財布をどうしていくのかというのがあってしょうね。やっぱりこの財布をどういうくくりで財布をつくらたいのかというのがあるんだと思うので、きっと本質的な問題と

してあるのかもしれないです。ただ、技術者、研究者ができるのは、技術的な観点とかこういう管理のポイントから、どういう財布だとどういう仕事ができるのかということを提案するというか、提示するというところまではできるかもしれないけど、最後にそれは意思決定の話になるので、それをどのように決めていくかというのは別途ちゃんと議論しなければいけないんじゃないかなと。

それともうひとつは、全然違う切り口で、すごくうまくいった事例を早くつくると。どこでもいいんですが、では今言ったように、力があって、切羽詰まっている人は、だけどその分、力があって火事場の馬鹿力が出そうで、いざとなったら実行力があるという人がいたとすると、そういう人を炊きつけて、では本当にダムかどうかかわからないけど、土砂の流れをよくして、そうすると海岸に砂が着いたとすると、少し海岸が太ってきたとか、あるいはダムが下流なら、今まで非常に二極化した粗い礫と何かチョビチョビの砂しかないところに中間の粒径が出てきて、明らかに環境がよくなってきたということを早く作って、それをめっちゃくちゃ宣伝するということはどうなんでしょうか。

つまり、意外に本格的に土砂管理をやって、こんなによかったというのが日本のどこにあるのと。ダムの下流にちょっと土砂を置いてとかそういうのはあるけど、だからアクションとか行為はたくさんあるけど、実際に川がよくなったとか、海に直接それが要因するというのにはありますが、そうじゃなくて土砂管理の水系の手法を使ってちゃんと土砂の流れがよくなってきて、本当に物が、地先がよくなったという事例を早く作る、本格的な物を作るというのも、それを皆で寄ってたかって見て行く。ちょっとそれは私の身に余る質問かもしれないけど、何かそれぐらいのことをどんどん議論していかないと、そういう感じはしますね。今はもう早く、僕が生きている間に砂が海岸に届いて、やっぱりやれば変わるかなということを見たいなというように最近是非常に思っています。



質問者3 変わりやすい河川の例は非常に興味深く聞かせていただきました。ここには土砂の話も何も書いてないんですが、物の考え方が書いてあって、私はここに来る前に会社で、残業をどうするか、ということに一生懸命に役員と話をしていたんですが、そのことにこの陥りやすい例が全くぴたり合うなというように感じたので、これは何か先生が独自で考えられたのか、あるいは物の社会のどこかにそういう考え方があるのかどうかということで、教えていただいて僕はこれを参考にさせていただきたいなと思っているんですが、よろしくお願いします。

藤田 あまり言えないのですが、ある事例がありまして、そこでいろいろ皆さんも私も努力しておったんですが、何となくうまくいかない状況になりました。私は非常にカッカ came ました。かなりカッカと来て、どこが問題なのかと言ったら、こういう問題が出てきたということです。やっぱり経験が非常に重要だなと思います。ただ、その問題を経験したときに、その問題の所在を突き止めて、そんなにきれいな答えは出ないんですが、一歩進めるのにせめて何に気をつけたらいいのかな、とかね。そういうことは皆さんもそれぞれ同じように苦労されて、いろいろなことを考えられていると思います。私も明らかに、現場のいろいろな問題に遭遇して、チクショウと思ったことが結構大きな駆動力となって……。そう、こんな架空の議論は絶対に出てこないですから。

だからむしろ今の質問にあえて関連で言うと、も



う総合土砂管理というのは立派なお仕事なんだから、そんな理念とかそういう段階じゃなくて、具体でうまくいってない事例をどうしたらいいのかということを、先ほどのご質問の方もそうですが、もうちょっと具体的に、ちょっとこういう方向でやってみたらどうかとか、そういう対策を個々にきっちりと集めるとか、そういう方向にどんどん持って行かないといけないのかなと。逆に今のお話を聞いていて思いました。

質問者4 総合的土砂管理というのは夢のような存在だと思っていたんですが、ずいぶん体系立てて、私も今日は非常に勉強させていただいてありがとうございました。

ちょっと1点だけ、最初の材料「m、s、t」の話と、それから高さの話になるんですが、要するに時間軸を「m」・「s」・「t」、なるほど見方があるのかなと思いますが、どういう観点で時間軸で見たらいいのかとか、あるいはたたらの、例えば浅間の噴火と利根川とか、今回の紀伊半島の水害、土砂災害とか、ああいうような大きなイベントとの関係においてはどのように見ておけばいいのか、もしご示唆いただけるものがあればお願いします。

藤田 一番大事なところですよ。逆にそこは今日の話も全体的にはかなり割り切ってやってしまいました。割り切り方その1は、10年とか20年ぐらいの移動平均を取ったら大体供給量はこんなものかと整理しても、そんなに的を外さないのではないかなというのが一つの大仮定であります。それで今、国総研・

土研は大規模な豪雨があって崩壊したときに、その影響がどれぐらい大きいかという研究を2年ぐらい前からやっていて、私はそれは非常に大事な研究だと思いますが、ある程度は度を越したインパクトに対しては履歴性が残るので、それに対して土砂管理上はどう見るかというのはとても大事だと思います。

ただ、ある程度の年限を広げれば、あともうちょっと下流に下がってくれば、ある程度は空間的、時間的に流されてくるんだろうなと。そこをちょっと強引に端折って物の整理のためにこのぐらいにしたらどうかということをお大前提にしています。ですから、先ほど途中段階で山地河道の特徴の話をしたんですが、あれは恐らくインパクトが大きくなれば山地河道に止まらない可能性もあって、非常に不均一とか変動性が激しい時空間がどれぐらいのところまで来ているかということをおどのように取り扱うかということは別途、技術的にまじめな議論が必要かなと思います。

その上で、これは20～30年とか40～50年ぐらいで移動平均を取れば、物事が捉えられようとしたときに、その上で自然状態に対して何となく皆さんが示唆されているように、江戸時代にはずいぶん山を痛めていたんだと。それで本当に自然状態からそのままダムのお話に来ていいのかという議論に対して、やっぱりもうちょっと論点を明確にして、その方法も含めてその問題をはっきりさせないと、もしかしたら我々は、これはいろいろな人が議論しているんですが、戦後のこの辺を環境のリバイスに置いてしまったのはとんでもない間違いをしているんじゃないかと。もしかしたらここではないかと。ただ、これはたたらは極端な例かもしれないので、江戸時代の人間の力から見たらこれほどの自然状態からの増分をもたらすかどうかというのは流域によって大分違う。でも、もしかしたら大なり小なり、ちょっと上がって下がっているというそういうのがあるかもしれないので、まさに今のお話で行くと時空間にどれぐらい積分して物を議論していますか。どういう対象、どういうシチュエーションならその積分の

スケールは妥当なんですかということは、ちょっと今日のお話の中で私も整理し切れていないし、それはまた別途ちゃんとまじめに議論しなければいけない話かなと思いました。

質問者5 財団でも総合土砂管理に関する検討をやるかと思って、3年ぐらい前から若い人を集めていろいろ議論をしました。それで、私もいろいろそれに関わっていたんですが、そもそも総合土砂管理というのは社会的にそもそも認知されているんだろうかと。困っているんだとか、我々だけが困っているだけで、でも世間的には全然困っているような雰囲気も見えないし、やっぱり困っていないんじゃないかという感じを私は思っています。

これと似たようなことがあって、洪水の問題で「総合治水と特定河川事業」ということで、1970年代後半から80年代にかなりの勢いで社会的にも認知されて、すごい勢いで協力していろいろな制度を使いながら一生懸命にやったんですが、これは一種の成功事例になっていると思いますが、ああいう形になっていかないとたぶん、総合土砂管理というのはうまくいかないだろうと。組織論ではどうかという話があって、誰がどうやって決めているのかなと。誰かが何をせよという指令があるわけではありませんよね。基本的には特定河川の事業で、一種の皆が集まってやろうねという雰囲気にならないと、今の法体系ではたぶん前に進まないんですね。

そういう意味で、藤田さんが言ったように、困っている人がやるというのは、ある意味ではそれって今の状況ではないような気がしていて、一番困っているのはたぶん、海岸、それからダム機能が低下してしまうという、この2つの問題ですね。中間項の河道についてはあまり困っていないのかなと。環境が悪くなるというのはあるけれど。それは死活問題ではないわけで、その辺からやってみるということになるんでしょうね。海岸というのはパワーがないので、結局は中間の河川屋さんが河川管理者をつないでいかないと、結局はこの「総合土砂管理」というのは言葉だけで終わってしまいそうな気がして

いて非常に心配しているんですが。

これをどう突破するかで、こうやって河川で集まって、皆で知恵を出して一生懸命にやろうとしているけど、もうちょっと土砂に関する共通言語ができていないという問題があって、お互いに言っていることが通じていないということがあり、今日、藤田さんが最初の提案の3点目ぐらいでお話をしたああいう概念でもって、技術の世界でも共通概念になっていて、物事だってああいう概念が使われ初めて高々20年ぐらいで、ようやくそれが共通項になりつつある段階なので、そういう意味で総合土砂管理という計画がうまく行くためにはまだまだ時間がかかるんじゃないかなと思っていて、もっと困らないとやらない。とにかくそれで待っているわけにいかないので、我々関係者は何か分かっている人が啓蒙活動をやっていかなければいけないかなと。そういう活動もやっていかなければいけないかなと。それは国総研などに話をしていただいて、我々のような民間の財団法人等に一生懸命に話をしていただくのかなと、そんなふうに思っています。今、財団の報告書をまとめつつあるんですが、それについても公開したいと思っています。

藤田 だから、あえて言ってしまうと、僕は総合的に取り組むというのは手段にすぎないというように割り切っています。つまり、全体に関係するから総合的に取り組むというようなことから入ってしまうと、何が問題かもわからないで一生懸命に調べるといことになってしまうのが、今はとても嫌な感じがしているんですよ。だって問題がないならやらなくてもいいじゃないかと思ってしまう。では50年後に問題になるCO₂の二酸化炭素の問題、では50年後に問題の深刻度とかそういうことをかなりクリアに語るという努力があるわけですよ。それがさほどでない流域に対して総合的にやることから入ってしまうというのは、やっぱり非常に本当にやらなければいけない水系に対してのモチベーションをかえって下げるんじゃないかと。だから私は本当に困っているか、かなりそれに近い状態のところでも早く成功事

例をつくるということ、一人ずつちゃんと目指すことができるのかなということを、とりあえず今は考えてしまっています。

その先にそれを見ながら、ではああいうことをもうちょっと前段階でやっておけばいいんじゃないかとか、いろいろな発見があると思いますが、何かそういう具体の事例をつくってあげられないかなと。今は何となく、それが正しいかどうかは皆さんに大いに議論してくれればいいんだけど、それさえもできないと何か仕組みから入ってしまうと大変だなと。仕組みというのは、総合土砂管理という仕組みから入ってしまうと大変なのではないかなということ、をちょっと感じておまして、風下・風上ではなく総合土砂管理を道具として使ってしまうと。それで、総合でなくて物が解決するならそれでいいじゃないかと。そこからまた本当の総合土砂管理の使い道はどこにあるかを具体的に議論できたらいいんじゃないかというぐらいに考えてしまっているのが心境で、ちょっとそこはいろいろ議論しなければいけないと思います。

質問者6 今日私はこの問題についてあまり当事者ではないんですが、聞かせていただきました。

この総合土砂管理というのは河道の中の話ですね。最初のほうの沖積低地の地形形成とかああいうのを考えると、沖積平野は広いわけですが、その中の線みたいなことを、それから面の形成、それから例えば砂利採取で河床が低下したというのは、これは川の中だけの話ではなく、社会の中の土砂の事業の話ですね。最近では例えば田んぼなども昔の田植えの方式ではないですから、毎年5cmぐらいの土砂を持ってきて入れて、次の年になるとまた元のレベルに戻っていますから、要するに、もうちょっと広い意味の「総合的」という言葉に私は引きずられて最初に考えたときには、川の中で起きている現象と世の中の土砂の動きというのはオーダー的にどんなものなのかなとちょっと気になって聞いていたんですが。

それから、最終的に河川の中の土砂の議論を社会

的に位置づけるとしたらどうということなのかなと、ちょっと興味を持ったのでお伺いしたいと思います。

藤田 2番目のが僕はとても大事だと思いますが、それはたぶん、総合土砂管理の話に止まらずに、先生に言うのも何ですが、土砂水理学とか河川工学が世の中で何のためにあるのかということに大に関係する話で、近頃考えるにつけ生物とか水資源は彼らが扱っている学問のアウトプットそのものが、もう間違いなくわかりやすく世の中に関係するじゃないですか。生物が絶滅するとか、水がないとか。ところが川の中の地形がどうだとか、河床が上がった・下がったということは全体のシステムの途中段階の情報なので、それが社会にどのようにリンクしているかということは放っておいたら誰も見えないということはおっしゃるとおりだと思います。

そうすると、ちょっと総合土砂管理の議論とは離れてしまうんですが、しかし一方で冷静に見ると我々は自明のことですが、川に高度ないろいろな機能を全部集約しているので、形一つ取っても堤外地に大に関係する相当な機能を担っているはずなんですが、意外にそういう視点で、例えば砂利が10cm上がったことが皆さんの生活にどう影響するとか、そういうことの説明戦略とか説明のスキームがちょっと非常に弱いんじゃないかと。それをもうちょっと徹底的にやらないといけないのかなということは私も全く同感で、その道筋をもうちょっと河川工学をやっている人が考えないと、このままで行くと河川工学は滅亡するんじゃないか、とまでは言いませんが（笑）。たぶん、機能が高度化されて集まっているので、どこかで破綻するという心配はあります。だから、そこはしっかりと見なければいけないと思います。

その延長線上で総合土砂管理というのももうちょっとそれに関連づけられれば、だから私は問題の構造がはっきりしないと、土砂管理だから大事だということに入ってしまうと、とんでもない勘違いになるよと言ったのは、まさにそのとおりで。ただ、相対的にはこれはむしろ行政のほうが感じをわ

かっていると思いますが、先ほどの図を書きましたが、例えばある水系で「15年分ぐらいなら結構必要になるんですよ」というようなある事例があったとします。つまり、あるいっばしのダムに溜まる泥とか砂の15年分程度を流域が欲しがっているぐらいの話はどうもありそうだと。ただ、それが30年とか50年続けられるか、というと、どうもそうではなさそうだというのが今の雑駁な感じです。そうすると15年は結構埋まるかもしれないけど、50年は無理かもしれない。それぐらいの時間的な猶予の中で我々は本質的なデッドロックに陥らないようにどういう段取りをするのかというのがひとつの答えかもしれないし、それがもしかしたら水系ごとに違うかもしれない、というのはとても大事な議論だと思います。

それでたぶん、流域のいろいろな土砂の議論の中でも、流域ではどれぐらいの土砂が必要とされるか、というのは必ず大事な項目として入っているのがしかは議論されるんですが、その視点はぜひ入れないといけない。ただ、前段の川のことをなぜあんなに一生懸命に皆勉強するのかというのをわかりやすく説明するというのは、ぜひ先生にいろいろ教えていただければありがたいと思いますので、よろしくをお願いします。

海岸が困っているというのは、たぶん、諏訪さんあたりがお話しすることを期待しています。ぜひよろしくをお願いします。

(了)

平成26年度

第2回 河川研究セミナー

河道から見た総合土砂管理

—供給土砂を明示的に取り込んだ河道設計・管理に向けて—
服部 敦 氏（国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長）

開催日：平成26年6月26日（木）

場 所：TKP神田ビジネスセンターANNEX

河道から見た総合土砂管理

—供給土砂を明示的に取り込んだ河道設計・管理に向けて—

国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長

服部 敦

服部 皆さん、こんにちは。よろしくお願いいたします。

今日はお手元にお配りしました、資料1から資料4までに分けていますが、このメモに沿ってやっていきたいと思っています。

大体の構成を最初に述べますと、資料1でまずは土砂供給とか何とか言う前に、まずは河道についてもう少しきちんと考えてみよう。タイトルにもあるように、河道そのものでそもそも供給土砂というのは河道の設計においてどういう取り扱いになっていたか、というところから掘り起こしたい。それが終わりましたら、一度資料3に飛びまして、では昨今のよくある話題でありますダムから給砂する、排砂する、ダムが1つのポイントになって供給土砂をコントロールするということをやったときに、では河道も加えてどのように進めていくべきか、みたいなことを議論します。資料3と資料1の架け橋、橋渡しとして資料2を用意しまして、ダムで排砂運用をすると資料1の話がどのように見えてくるかというのをあえてやってみるといったことを、資料3を説明しながらやっていきたいと思っています。最後、資料4では、これはかなり細かい話なのですが、や

はりかなり重要な話であります礫床河床の上に砂を大量に供給するということが起こり得るのですけれども、そこが総合土砂管理の上で、河道を設計する上でも非常に重要だと思っているのですが、そこについてどこまでわかってきているのか、何の検討をしているのかといったことについてご説明するといったような形で進めていきたいと思っています。

一番最初に、資料1（第2回河川研究セミナー講演メモ）の話です。この話をいただいたときに、正直言って困りました。それがタイトルなのですが、総合土砂管理で河道とやったら、何かと関連という話をよくしていたのです、雑談でも何でも。しかし、よくよく考えてみると、河道設計とか河道計画をするときに、流量の計画はあっても土砂の入ってくる量の計画というのはないですね。ですから、何かどこかに入ってくるのでしょうかけれども、明示的に「供給土砂量がこれだけだから、こういう管理をしよう」とか「こういう川づくりにしよう」といったことが話されていなかったと思います。

ですので、では上からの供給土砂量の条件を変えるけれども、河道、総合土砂で何をやっていこうかなどと言われても、考えるよすががないということです。そもそも、扱っていないのですから。リスクとか言っているものだったら、もう少し流量が大きくなるからどうしようかなどといって、超過洪水だとか、えらいものが出てきているのですけれども、そもそも超過云々以前の問題として「ところで今、河道設計では土砂を幾らで計算していたっけ」といったぐらいの話だったのです。なので、まずそこから整理しないと、総合土砂管理の中で河道について考えてここで話しなさいと言われても、何も



できないと思ったので、ここ数週間かけて無理矢理考えてきたのが資料1です。

では、その議論をしていこうと思います。まずは1) イントロということで書いたところですが、これは昨年度ここで話しさせていただいた河道設計でたしか4回やらせていただいたのでしょうか、そのときにお話しさせていただいたものの内容をコピーしてきたものです。

今度の河道設計には、アウトプットとして「取扱説明書」なるものをつけましょうと、私は言い出してしまいました。まあ普通、こういう形でこういう構造物の配置をやったら河道設計ができた、河道計画ができたと言うのですけれども、その後、維持管理に困ってしまったり、維持管理するに当たっても治水の要点を外したようなことにならないように、こういう管理の仕方をしなさいと明示的に書いてしまう。もうマニュアルですね、取扱説明書です。こういった設計条件を超えると、どんなことが起こってしまいますよ、ということも書きましょう、などということも言ってきました。

その中で、上下流バランスを考えた維持管理等と書いていますけれども、これを考えているときに、やはり総合土砂とだんだん話がつながってくるのだらうということです。(スライド1)

維持管理ということを言いますから、川の変化に対応していく、ということをやっていくわけですがけれども、これまでの河道計画は必ずしもそうではな

かったと思って、積極的にやってきたつもりなのですけれども、変化にどう対応して設計していくかというときに、どうしてもこれに引っ張られてしまったかなと。「あらかじめ見込む」と書いて、「生じ得る変化を見越して、それに対応できる諸元を設定」と書いていますけれども、河床があと何m低下します、何m低下しても大丈夫のように、護岸の明示をしておきますとか、もう最大これぐらい起きるから大丈夫だとか、また逆にいうと、30年間で何cmぐらだから、変化ないと見越して大丈夫とかいうふうな、そこへ持っていこう、持っていこうとしてしまっていて、変化のない川は変化のない川というふうなやってきてしまっている傾向が少し強くなっているのではないかと感じていました。(スライド2)

けれども、いよいよいろいろな川でもうワンランク流下能力を大きくしようというようなことを考えてくると、なかなかその範囲に収まらないような河道の検討が多くなってきました。どうしても川幅を広げないと流下能力が出ないというようなことも出てきました。そうすると、そういった路線でやるのがどうも窮屈になってきてしまいます。ですので、当たり前ですが、今のものにも書いてあるかもしれませんが、ではこの領域に近い、安定だと思っていたようなものから、どれだけずらしたらどれだけの変化が生じるのか、その速度はどれぐらいかということを見越して、それをコントロールしましょうということところを、かなりこちらからこちらへ重心

● スライド1

河道設計のアウトプット

- 河道形状
- 河道の表層状態(河道構成材・植生)
- 護岸など構造物の配置・機能(堅牢性など)
 - 詳細構造はアウトプットではない
- 「取扱説明書」
 - 流下能力・構造物等の維持管理の仕方
 - 設計条件を超える洪水時の河道応答・氾濫の状況
 - その他注意事項
 - 例えば、上下流バランスを考えた維持掘削・樹木伐採
 - 継続調査、さらなる改善が望まれる事項、など

● スライド2

■ 設計の基本的スタンス

- ◎ あらかじめ見込む
 - 生じうる変化を見越して、それに対応できる諸元を設定
- ◎ 生じうる変化をコントロールする
 - 変化量を抑制する設計
 - 生じた変化をリセットする管理行為の組み込み
- ◎ 今なお全てが見通せない河道応答に確実に対処する
 - 冗長性の付与
 - 例えば、高水敷の堤防防護効果を活用
 - 既往河道変化から得た知見を適用できる河道の保持
 - 例えば、侵食進行を見通す知見がほとんどない難侵食土層などへの河床材料の置き換わりを避ける
 - 受け入れるには、種々の対策に「相応」の冗長性付与が必要!!!
- ◎ 箇所対策→より抜本的な対応
 - 例えば、総合的な土砂管理の実践

をずらしていかなければいけないのだろうと思って、あえて並べかえたと言っているわけです。

その中で、川の中で例えば土砂がこれだけ来ます、これだけ堆積してしまいます、その中でコントロールしようとしてもなかなか窮屈だということになってくると、より抜本的な対策でこういったことが言われてくるのだろう、などと思っているわけです。では、これをどう橋渡ししようかというのが今日の議論の話になってきます。

「検討ツールの充実」というのは、昔に比べると、いろいろデータが豊富になってきたといったことです。地形測量も、このようなサイドスキャンソナーなるものを使って、200mピッチには必ずしも縛られないでこのようなものが分かるようになってきました。サイドスキャナによる測量を見ると、深さだけではなくてボツボツと見える凹凸が見えていますけれども、最深河床に護岸ブロックがしっかり敷設されているのが分かるようになってきました。目視点検だったら絶対にわからなかったことが図示できます。(スライド3、4)

さらに、堤防のボーリング調査もかなりやっていただいたので、それを川の立場からすると、このような地質縦断面図に直して、今の河床高がどのぐらいにあるのか、礫の河床から砂の河床に変わってしまっているのではないかなというようにもわかるようになってきました。これ以上河床を掘り下げようと、違う材料になってしまうということもわ

かってきたということです。(スライド5)

数値計算もかなり、コンピューターの性能も上がってきましたし、モデルも改善されてきたので、できるようになってきています。

といったことで、このようなツールをどんどん使っていこうではないかということに現在はなっています。

そういったデータが豊富になってきましたが、次に「河道での土砂管理」、あえて「河道での」とつけたのですけれども、どうしましょうかといったことです。よく一番最初にやるのは、とりあえず土砂収支図をつくってみようと。ダムにどれだけ溜まったか、これまで河道がどれだけ下がってきてしまったか、そして砂利採取はそれに対してどれだけの貢献度をしているのか、結果、差し引きすると河口から幾らぐらい出ているのかといったようなことを一生懸命やるのですけれども、これはこれで、これま

● スライド3

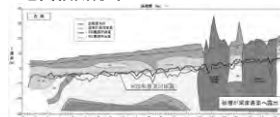
◆河道設計の進展を促すツール・情報

- ・ サイドスキャンソナーなど面的な河道地形測量
 - － 200m定期横断では見えなかった洗掘・中規模河床波
 - － 測量密度によっては根固ブロックの有無も判読できる
- ・ 堤防ボーリングによる河床下の地質縦断分布
 - － 河床材料の厚さの推定ができる。
 - － 河道掘削・河床低下による河床材料置き変りの検討に不可欠な情報
- ・ モデル改善・コンピュータ処理能力の向上
 - － 平面2次元不定流計算で洪水伝播の追跡が行えるようになった
 - － セグメントスケールの広域にわたり、平面河床変動計算が行えるようになった

● スライド5

3.4.4 岩盤、軟岩など固結物・半固結物の調査 7.2.4 河道表層下の土層構造調査

●河川堤防の基礎地盤ボーリング調査結果など既存資料を活用した地質縦断分布



●必要に応じて、ボーリングや露出箇所による調査を追加



での河道の履歴としてどんな経歴があったかがわかるのですが、これで土砂管理かと言われると、私も正直言って、定性的な傾向はつかめるのですが、でも、ではどう管理していこうかというところはちょっとピンと来なかったわけです。ですので、土砂動態マップ、フラックス図なのですが、こういった図が考えられていますけれども、管理の目的に合わせてもっといろいろな作図の工夫をしてもよいのかなというふうに、最近考えるようになってきました。

そこで、こういった粒径集団ごとに砂利採取等々で河道から取り上げてしまったのがこれだけの量、砂利採取がこれで、河道から排出がこれで、ダムに堆積しているのがこれで、実質は河道の中にこの半分ぐらいしか砂は入ってこない、みたいなことまで書いてみたわけです。

これでもまだ、ちょっとなかなかだな、といったことだったので、出納帳をつくってみましょうと。何の出納帳かというと、河積を財産だと考えてみて、その河積がどれだけ変わってくるかという感じで書き直してみる、こんなことをやってみようと思いました。

これをやるねらいとしては、河積はかなり伸びてきたぞと。どれだけお金をかけているから伸びているのだとか、もしも伸びていなかったら、今のお金とどれだけつり合っているのだろうかというようなことを考えていけるようにしたら、ひょっとすると管理との結びつきが出てくるといったことで、出納帳に管理の能力という観点をもう少しわかるような

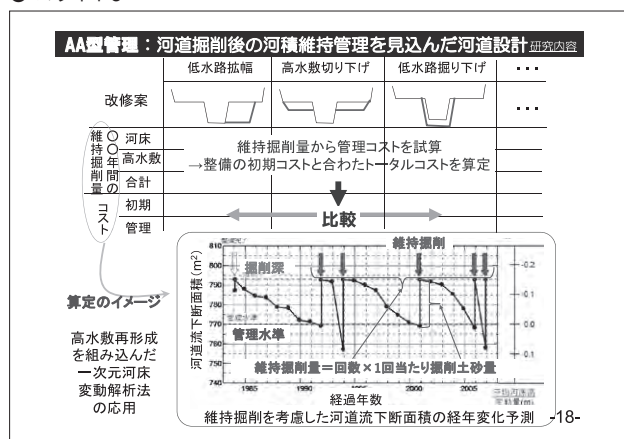
まとめ方をし直さなければいけないということを考えました。

そうすると必然的に横軸に出てくるのが、やはり時間の概念が出てこないと変化速度みたいなものがわからないので、ちょっとそういう形でまとめ直してみました。これも前回お示ししたかと思うのですが、まだやり始めたばかりの暫定値なので、雰囲気だけで見ておいてください。これは何をやったかという、縦軸に容量と書いてあって、すごく大きいオーダーのものが書いてありますけれども、これは何の容量かという、全国の109水系、直轄区間だったかな、ハイウォーターレベルで河道にふたをします。そうすると、ふたをされた管が出てきます。その管の太さというか、容積というか、利根川に全部ふたをして、そうするとそのふたをした中の空洞の容積が出てきますね、ハイウォーターレベルの。それを109個全部足し合わせたということです。ですので、大まかに見てしまうと、管が太くなってきたので流下能力が上がってきて、という変遷図になってきます。これは全国の数値です。足し合わせたのです。昭和30年代ごろから、早いところだと横断測量がありますので、うまい年限でちょん切って、それを109個全部足し合わせるといったようなことをやりました。

なので、堤防の高さがハイウォーターレベルに達しない時代もあると思うのですが、そういうのを無視して、とりあえずハイウォーターレベルでバツとふたをして出したものです。ですので、実質どれだけ掘れ上がったかといったようなことがまず縦軸で出てくるところです。それが年によってどう変化してきたかということです。

もう一つやったのが、あまり古いものはイメージで書いてしまっていて申しわけないのですが、平成の初めぐらいですかね、水辺の国勢調査とかをやり出したので、比較的まとめたデータが簡単に手に入るようになってきたので、では樹木が河積のうちにどれだけ断面を取ってしまっているかというのをやりました。高い木はハイウォーターレベル

● スライド6



まで樹高があるとして、低い木はその半分ぐらいかなというような、ちょっと簡略化して計算していますけれども、概算値として見ていただければ結構です。鉄パイプに例えますと、これが鉄の管だとすると、鉄の管の内側にサビが出てきてしまっていて、だんだん管内の水が流れにくくなっていると。それを下げようとしている線と流れというようなことで見ていただければということです。

その樹木が繁茂したことで、どれだけ河積が減っているかというのを表現しています。そうすると、一目してわかりますように、まず砂利採取をやっていた時代というのは、河積がグーッと伸びていきます。平成に入ったぐらいから、また遅いところでも平成10年ぐらいにはかなり規制が進んで、採取量が少なくなったので、このあたりから、河積の伸びが少し鈍くなってきます。かろうじて頑張っただけ伸びている川というのは、この時代に比べると傾きが相当弱くなっています。きっとこれは、事業でもうワンランク上の整備をしているということで掘削しているし、激特のような大規模な掘削をしているなどでちょっと伸びている程度です。

樹木がちょっと衝撃だったのですけれども、これはちょっと本当かなと思っているのですが、一時期に樹高がパーッと増えてしまっていて、一時思い切り切って減らして、一時河積が減っていたという感じになってしまっていますけれども、そんなことがあったと。この時期に、あまりにも樹木が繁茂するので、一度頑張ってお金をつけてたくさん切った時代があったというようなことを聞いていますので、ひょっとしたらそのことを言っているのかなと思っています。

ですので今この絵を見ても、なるほどなと。この型の木を維持するのに、私たちはここにもう1つ、例えば投資額を入れてみたらおもしろいのではないかなと思っているのです。この型の木を維持するのに、どれだけの事業費をつぎ込んでいるのかといったことです。そうすると、すごく単純な話かもしれませんが、ではこれを2倍にしようと思った

ら、お金も2倍にするのか。半分減らされてしまったら、傾きはどれだけ減るのかといった、大まかなことをやってもよいのではないかと思います。

そのような大まかなことができるようになってきたときに、では整備計画というものが将来あるだろうと。これはわからないです、20年後か、30年後かわからないですが、足し合わせて計画の断面と合わせると、これはイメージですが、この辺だとすると、ちょっと本当にこの型で間に合うのかとか、土砂が埋め戻ってきてしまって、設計上確かにこの断面からこの断面まで掘り下げるお金はそれで十分かもしれないけれども、工事をしている間にどんどん埋め戻ってくるということを考えると、それがこれだとすると、間に合うのかということについて考えなければいけないことになってくるかと思います。そういう意味合いにおいて、この図にこの目標値と、この傾きと、絵には書いていないですけれども、何か投資したお金のものを書いてみると、さあどうしようかということになってきます。仮に樹木と河道に分けていますので、やはり河積の管理が重要なのか、樹木の管理が大事なのか。この絵を全国にやっていますけれども、例えば石の川と砂の川に分けてみたりして、より分析的にしていくと、今後の重要なものは何なのだとことが見えてきて、自分たちの管理につながっていくのではないかと思います。

ですので、まずはこういった自分たちの見やすいものをつくっていかないといけないと思っています。こんなものを今、うちでは工夫してやっていて、今言ったようなことができるかどうか、さらにもう1年間ぐらいかけてやってみようと思っているところです。

本当はもう1つやりたいものがあって、河積ばかりやっていましたが、実は洗掘・侵食が進んだ場合の河床低下が深刻ではないかと思っています。きっと河床が洗掘・侵食してくると構造物の安定性にも影響が出てくるでしょうから、局所洗掘が進んで、だんだん洗掘深が深くなりすぎていて、構造物の具合が

悪くなってくる件数が増えてくると思うので、そういった質のほうですか、量だけではなくて、こんなものをちょっとしようかな、というふうに思っています。堆積ばかりが問題ではないといったことです。

ひょっとすると、このように河積を上げてきた裏側では、河床がすごく下がってきてしまっているの、構造物の安定性が下がってきて、何となく激特等でうまく直して維持しているという姿があるのかもしれないので、そのバランスもしっかり見ておかなければいけないと考えています。

今日はお示しできないのですが、そんな図をつくって考えていこうと思っています。

そういったものが見えてくると、ではこの傾きをどうするかということについて、上流からもどれだけの量が入ってくるか、河道をどうするかについてまじめに考えていくと、もう少し実際の管理等のイメージ、つまり総合土砂管理に少し近づいていくようなものが出てくるだろうと考えたわけです。

かといって、あんな図では実際どんなことが起きているのかわからないということなので、今日は大体念頭に置いている傾きはこんなふうになっているというものの裏側ではどんなことが起きているかということ「近年の河道変化の事例」ということで、幾つかバーッと紹介したいと思います。

まずは、砂州の掘削をして再堆積してしまったというものです。これはある川ですが、これは内岸側ですが、これは砂利採取で昭和60年ぐらいまで一生懸命取ってしまったのですが、砂利採取が止んで、その後、ここを深くしてしまったといったようなことです。

今、ここの流下能力がやはり足りないの、これと同じ時期ぐらいまでの勢いでここを掘削してやらないと、所定の流下能力が満足できないということで、整備計画を考えていると聞いています。ですので、昔やったこういうことが起きているので、ではこれがここからここまで戻るのに何年かかっているのかとか、どこまで上がってしまったらどれだけ危険になるのかということをしっかり評価してやっ

てほしいということをお願いしています。

検討途上だったと思いますけれども、どうも掘削した後3年間でこれだけの量がここに堆積するというようなことを、200mピッチぐらいで河床変動計算をしてくれたわけです。そうすると、堆積量が10万 m^3 ぐらいを優に超えてしまうのです。「これは何年間のシミュレーションですか」と聞いたら「3年間だ」というのです。「3年間で、毎回10万 m^3 強を掘り続けるという河道計画になりますね」と言ったら「そうですね、うーん」と、やはり唸るわけです。10万 m^3 ですから、お金に直しても尋常ではないですね。「それとバーターでほしい整備計画が成立するのですよ」といったことを議論したといったような経緯があります。

今は河床の材料を掘り下げていたわけですが、掘り下げずに起こってしまったのが、よく皆さんが「二極化」と言っているものです。この河川の例では、だんだん河床が低下してきて、ここまではこの川幅で低下していたのですが、ここから入れかわるように、右岸側だけ上昇で左岸側が低下ということで、川幅が狭くなっているというようなものになっています。こんな小さな砂州があったのが、ここが高水敷化してしまったので、粒度が固定されてしまって、砂州のでき方も変わってしましましたし、そのためでしょうか、滞筋が固定されてしまって、洗掘される場所が決まってしまって、局所洗掘も深くなってきたということで、いろいろな弊害が起きているということです。

ですので、こういった堆積をするということも、どこか念頭にこれから入ってきます。

それが非常に端的に現れたのがこの川の例でして、砂利採取が終わった後、平成10年と言ったかな、その後10年間で河床変動が生じたので調べてみました。10年を基準にしたら、これだけ河床が上がってしまいましたといったような例でした。

河床材料も調べたのですが、「もともとこれぐらい粗い、120mmぐらいの粒径だったのが、かなり細粒化してしまったのです」と言っているの

す。現地で横断図で調べてもらったら、どうも滞筋のところはあまり河床が上がっていないと。むしろ、砂州のところが上がっていますと。粒径が細かくなったというのは、よくよく見たらこのように砂の部分と礫の部分に分かれて、二極化しているだけで、 d_{60} を取ったら細かくなったのだと言っていただけで。なので「どこを取ったら細かかったのですか」と聞いたら「川底でちゃんと取ったのはやはり礫なのですけれども、砂州の際ぐらいで取ると砂がまぎってしまっ」ということでした。ですので、よくよく話を聞いてみると、砂州の上に植物が生えていて、その中に砂が溜まってしまって、グッと砂州高が高くなっていると。砂利河川ですけれども、河床上昇しているのが砂だったというような、象徴的な出来事でした。

「では、それはどれぐらいの量だったのですか」と聞いたら「いやあ、年間1万 m^3 ぐらいですかね」というデータをまとめてきてくれました。礫はむしろ河岸の縦断方向で、その何年かの間にどれだけ河床が上がったか、下がったかというのを棒グラフに示したのですが、礫の滞筋はむしろ下がっているけれども、砂州で上がっているところが25万 m^3 もあって、大体20年間でこんなことが起こったので、年間1万 m^3 ぐらい上がっているということになります、ということでした。ですので、こういった砂が堆積するようなことでかなり変化が起こっているといったことになります。

最後の川幅の縮小という事例、これも何回も皆さんにご紹介しているので、ご案内かと思いますが、もともとの川幅を1.5倍に広げたら、またすぐに戻ってしまったといったものです。

横断図で見ると、川幅拡幅前後で、全く同じような形状で、元に戻ってしまったといったようなことです。これも先ほど言ったような、河床材料よりも細かいものが溜まるといったようなことで起こっているということになっています。

そのプロセスを簡単に説明すると、一度広げたら自流通間ですごく水深が浅かったんで、ちょっと砂

州みたいなものができて、そこが顔を出してしまったと。そこに植物が生えて、そこに土砂が溜まって、先ほどのような河岸が形成されてしまったといったようなことだと分析されています。

その堆積速度について、横断図から計測しました。ここで示している比高とは、この河岸の頂部から水面までの高さを言っています。縦軸が、1年間に何cmぐらい高くなっていくかというものです。メートルオーダーで整理しています。

そうすると、河岸の高さが小さい箇所で、洪水時にうっすら削られるのみだと、年間10cmぐらい溜まってしまって、5mぐらいまで河岸が高くなると、いよいよ流水時の流出がゼロに近くなってきます。年間10cmぐらい堆積するというのは、河積全部に溜まるわけではないですが、この現象が起こるといかに速く川岸が再形成されるかというのを物語っています。

最後の例が、河口です。大きく掘り下げた河口域での河床上昇している大和川ですけれども、昔はこんなに深かったのですけれども、そこが埋め戻ってしまってきていると。こちらは河床低下して、この辺は河床が上昇してしまっているといったようなことです。

その航路がこれです。ここまで昔は浚渫されていて維持されていたのですけれども、いろいろな事情があってやめたら、ここからここまでフロントが延びてしまったといったようなことが起こっています。

ご案内だと思いますから言いませんけれども、もう河口の位置がここからここへずれたので、こちら側の水位が上昇してしまって、流下能力が足りなくなるといったようなことが起こっているということです。

こういったものが頭の中にありながら、ではこのような河床の上昇や二極化するようなものを考えたときに、河道の、供給土砂を明示的に取り込んで河道設計すると、どういう良いことが起きるのだろうかということについて、私なりにまとめました。

では、まずは年々の変動を均して中長期的な河床

変動の傾向をマクロにとらえる見方をしてみよう。まず最初に、安定河道みたいなものがあってとして、それが上からの供給土砂量を変えたときにどうなるかということのを、もう一度きれいに整理してみよう。その中で、なるほど、上流から供給土砂量が仮に減らしたら、増やしたら、こういう場合はよいことがあるけれども、こういう場合はあまりよくない、みたいなことをもう一度整理してみました。それが下のパターンⅠ、Ⅱ、Ⅲというような形で出てくるわけです。(スライド7、8)

ここでちょっと言葉を使いますので、一度整理させてください。材料「m」とか材料「s」という言葉を使いますが、でも、「m」というのは単純に言いますと普通で言っている河床材料だと思ってください。この河床の部分構成しているものです。セグメント1、礫の扇状地河川だと、「m」が礫です。川岸まで礫でできている場合が多いので、こうだと。「s」と言っているのは、ほんのちょっとあるかなしかなので、セグメント1みたいなところを礫床河川で考えるときには、大まかに言って河床材料、材料「m」の挙動がわかれば大体よいというふうなことです。けれども、セグメント2ぐらいになってきますと、先ほどの川幅縮小ではないですけれども、細かい材料が川岸を形成しますので、それが堆積してしまうと川幅が変わってくるといったことで、材料「s」がどうのこうのというようなことが出てきます。小石の川だと、砂みたいなものが、砂の河川だと細砂

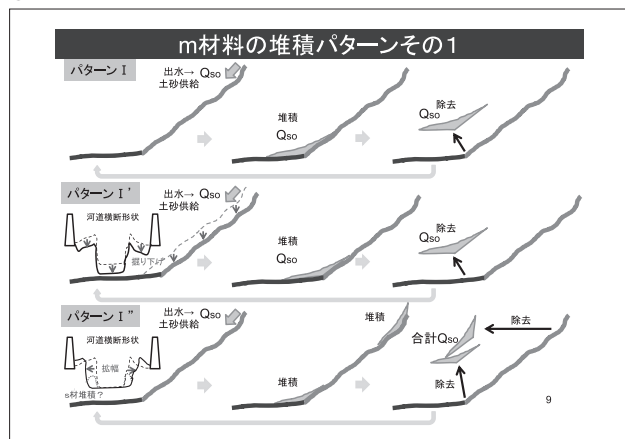
からシルトみたいなものが溜まって、こういうことが起こるということがわかっていますので、それを材料「m」とか材料「s」という言葉で使い分けて、それが堆積する、しないと言っているときにはこのようなイメージでやっているということで、ご案内いただければと思います。

まず、ではその材料「m」が溜まる堆積のパターンについて考えてみましょうということです。まずは非常にオーソドックスというか、基本的なところから行くと、これが安定河床だということでやっています。そうしたときに、上から Q_{so} だけの供給量があったら、当然セグメントの折れ曲がり点で吐き出せませんので、そこにその量が長期で、マクロの平均で言いますと溜まると。それを除去して、これでグルグル回っているのが1つの維持管理のスタイルになっていくということでしょうか。

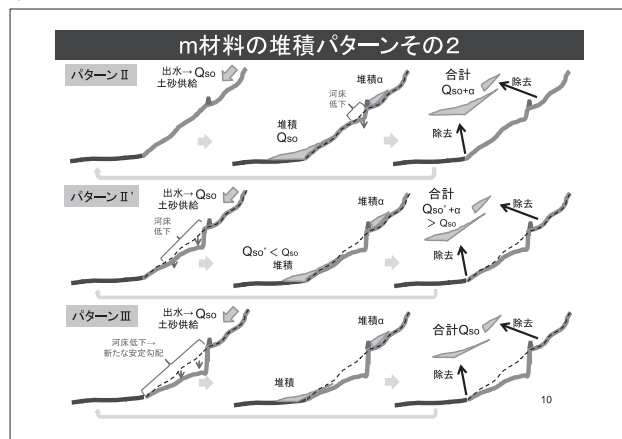
そうすると、当然ですけれども安定河床に行き着いてしまったら、この Q_{so} よりは維持掘削量が減らせないと。この中で考えていくしかないというのは、もう宿命であるといったことになってくるわけです。

では、それが川をいじっていくとどんどんどのように変わっていくのかということのを、これ以降で考えたわけですが、まずは単純に現況の横断形状を、スライドダウンして掘り下げたらどうなるかということしていくと、多分もうこれは変わらないでしょう。ただ単に、このセグメントの折れ曲がりの地点が少し上流に移動してしまって、このセグメントが十分

● スライド7



● スライド8



な長さだったならば、上流と同じことが起こるだろうという整理をしています。(スライド7)

細かくただし書きは、後で見いただければと思います。

もう1つのパターン、I'は、低水路幅を拡幅したらどうなるかというものです。当然、これは低水路の分担流量、対応流量が減りますので、流送土砂量が減ってしまいますので、セグメントの下流に流出する土砂がそこまで多くないと。上流端まできれいに除去されますので、上流に溜まってしまうと。それを掘削するのだということにすると、合計値としては入れた量と同じになってくるだろうということです。ただ単に上流端でこのように堆積してしまうと、新たな箇所での堆積が生じるだろうといったようなことになってくるわけです。(スライド7)

さあ、だんだん複雑になってきます。パターンIIは、横断工作物、堰などを設置して、一部分だけ広く拡幅する場合を考えてみました。(スライド8)

この例では、横断工作物のほうが絵ではわかりやすかったのですが、縦断物しか示さないで、堰を入れた場合を描いていますけれども、ここだけわけあって、先ほどの砂州を掘削するようなイメージのものと同じだと思っていただければ結構ですけれども、捨てるような場合だと思っていただいても結構です。

そういう場合は、このように上流から土砂が供給されると、当然上流にも溜まって、下流にも溜まるといったことで、これを除去することになりますけれども、まずこのパターンIIの仮定は、この状態は安定箇所の形状がまだまだ、堰がない河川にいきなり堰を作ってしまった状況を示しています。ですので、この段階では、堰ができたことに応じてまだ変化していないので、同じ洪水が来てしまうと、同じだけ下流に、 Q_{so} だけ流下してしまうのです。さらに堰の上流で溜まって、その部分だけ下流で洗掘されるので、そうすると全部掘削しなければいけない土量は、多分この a 分だけ増えてしまって、維持掘削量が増えてしまうだろうという例です。

パターンII'は、パターンIIの時代がしばらく続く

と、だんだんこの河床低下が進行していくので、その範囲がだんだんセグメントの末端に近づいてきた状態です。つまり、ここの河床勾配が緩くなっていくといった状態です。そうすると、上流から Q_{so} を同じ量入れ続けても、上で溜まる量は今は仮に同じとされていますけれども、そうするとだんだんこの勾配が緩くなってきてしまうので、ここの溜まる量がここまで行かなくなっていくと。だんだんこの量よりは小さくなっていくだろうといったような例です。

最後、ずっと取り続けて、ここはいよいよここに溜まってしまう量だけ差し引いた供給土砂量に見合った勾配まで達してしまうと、溜まる量がこれ以上減らなくなって、供給土砂量と同じぐらいまでに堆積してしまうということです。

では、こういうことを考えたときに、土砂供給量を堆積状況を考慮して、減らしたらよいのではないかということを考えたのが、この試行実験です。減のパターンです。(スライド9)パターンI'に対して、減らした場合の現象を示しています。これは当然考えやすいですが、上から Q_{so} 小さくしてしまったので、上流部のみ河床低下してしまって、セグメント境界は安定河床ですので堆積してしまうから、また Q_{so} だけ取らなければいけないと。当たり前ですね、上から土砂量を減らしたら、すぐにここの堆積量がポツと減るわけではないですね。先ほどの例でいうと、河床材料ですから、入れかわって、入れかわって、ようやくですから。ですので、この時代ここでこのように困っている人が、ではすぐに減らしてやるのが得策かということ、なかなかそうではないと。もしもそこまで、供給土砂量に見合いぐらいまでの掘削量に減らしたいと思ったら、相当河床が低下して、その供給土砂量に見合ったところまで、河床が低下してからでないといけません。当然のことが起こってきます。

パターンI'-dは広げてしまって、先ほど堆積していたというものですけれども、減らしてやれば減らしてしまうほうが堆積しなくなるといったことも起こるでしょうと。パターンI''-dでは、拡幅量が

びったり Q_{sd} 見合いの幅だった場合、ちょっと狭ければ河床低下してしまうし、ちょっと広げ過ぎってしまうと堆積するだろうということはありますがけれども、幅とのバランスでこういうことがうまく起こし得ると。

そうすると、理想的に、その川幅見合いにうまく広げてやれば、いきなり供給土砂量と見合った分だけの維持掘削量で済むような川がすぐにつくれます。相当の河床低下を待たなくてよく、河床低下による種々の弊害も乗り越えなくて済むということもあるでしょう。

さて、パターンⅡではどうでしょうか。ここに溜まってしまって、たしか Q_{so} より増えていって困ったと。では、上から供給土砂量を減らして、全体の掘削土砂量を減らしたいと思って、上から供給土砂量を減らすという政策を打ってみましょうということをやってみても、ここが河床低下するだけで、勾配を保っている間は結局変わらないと。これも先ほどと同じ話です。

2番目も、基本的に同じ話です。減りません。

3番目もそうですね、結局そうだとしたことです。ですので、なかなかそんなに簡単に減らないということです。

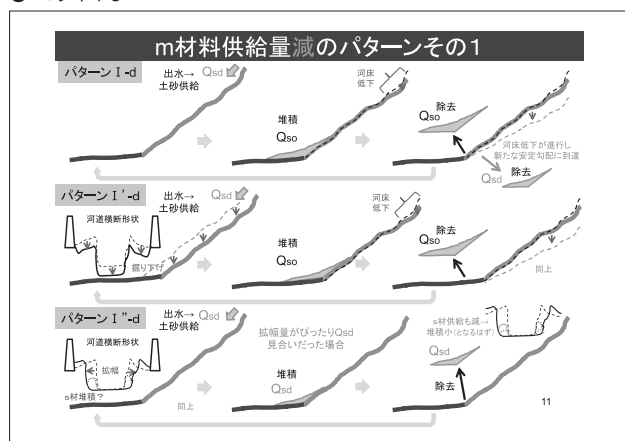
こういうことをまとめてみますと、パターンⅡ、Ⅱ'-dは、減らしても当初の供給量の Q_{sd} の時代と同じぐらいの除去量が必要だと。下流端周辺まで河床低下が進行しないと、なかなか除去量が減りません。

パターンⅠ-d、Ⅰ'-d、Ⅲ-dでは効果が出にくいと。むしろ、セグメント上流端周辺での河床低下の進行に伴う管理上の課題が顕在化することすら懸念されると。顕在化した場合には、供給減はトータルでの管理をより難しくすると。堆積を減らすつもりで供給を減らしたけれども、河床低下に悩まされてしまって、結局トータルで見たら管理の労力が増えてしまう、みたいなことが起こり得るといったようなことも考えられるだろうということです。

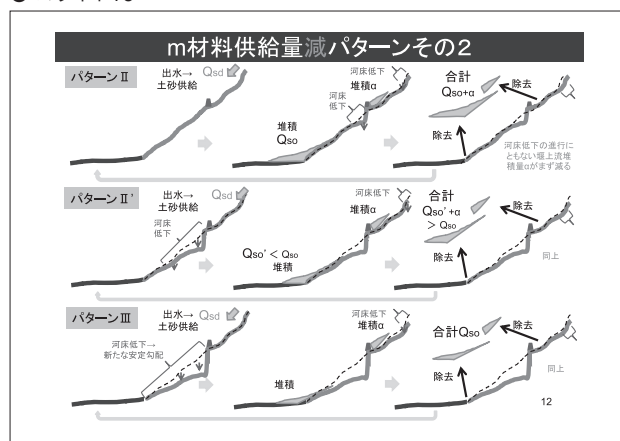
ですのでやはり、ただ単に供給を減らすということは特効薬にはどうもなりづらくて、やはり川のほうの受け皿として、川幅や堆積状況などの河道形状をきちんと見てやって、これだったら供給を減らせば効くよね、というところへ持っていかないと意味がありません。ですので「川幅改変とあわせての土砂供給量減が効果的」と。ただ単に土砂だけを減らすのではなくて、やはり河道のほうも何らかの手はずを整えてやらないと、その恩恵にあずかれないとといったようなことを書きました。

先ほど小礫の川だと砂が溜まってしまって川幅が縮小します、みたいなことを言いましたね。ですので、このように川幅を拡幅したもので、ずっと広がったらこうなのですが、多分このポンチ絵に書いてあるように、ひょっとするとそういう条件が整っている川だと、また川岸が形成されて、元の川幅に戻ってきてしまいますので、これもやはりこういった川幅を維持管理する労力が何らか必要になってきてし

● スライド9



● スライド10



れてしまう範囲が大部分を占めていますけれども、計算上は0.2mmか、0.4mmか、0.6mmを与えるかで進行速度が結構違いますので、全然合わないのです。当然ですね、川岸を形成するのですから。

そうすると、何かうまいこと合わせているつもりだけでも、傾向はとらえているのでしょうかけれども、実際に砂の量の $Q-Q_s$ を測って、それがどれだけ減ったかというものをここに入れて、堆積速度がどれだけ小さくなるかという、合わない可能性が出てきたと思ったのです。この中砂でうまくチューニングしたつもりでしたが、中砂ではなく細砂がまだ結構供給土砂量として多かったら、細砂が溜まってしまって、同じぐらいの速度で溜まってしまったりかもしれないことに対して、何ら否定できなかったというような程度だったので、机上検討では悪い方向へは行かないはずだけれども、溜まる粒径集団がきちんと言い当てられないという現状においては、一部分だけ抜き出して、ちょっと小さくしたということであれば、本当にこの川岸の堆積速度が小さくなるかというのは、はっきり言ってちょっと自信がありません。

ですので、その技術開発は非常に重要ではないかと思っています。堆積現象をシミュレーションでできるかで、総合土砂管理をする上で魅力が変わってくるといいますので、そういったことについて詰めていくことが重要ではないかと思っています。

次に、河床低下のほうです。河床低下は管理上の課題がいろいろ出てきます。河積が、先ほどの例がわかりやすかったのですが、低下で何が困っているのかといったことでしょうか。

オーソドックスな護岸・堰などの構造物の安定性の問題から、二極化で樹木が繁茂してきたことで、それ自体が河積に与える影響ということと、局所洗掘の位置が固定されて、そこで上と同じことが困っていたとか、河床材料の置き換わりというのも最後に出てきます。

最後の河床材料の置き換わりについてだけ、お話しします。これもよくある図ですが、上が平均河床

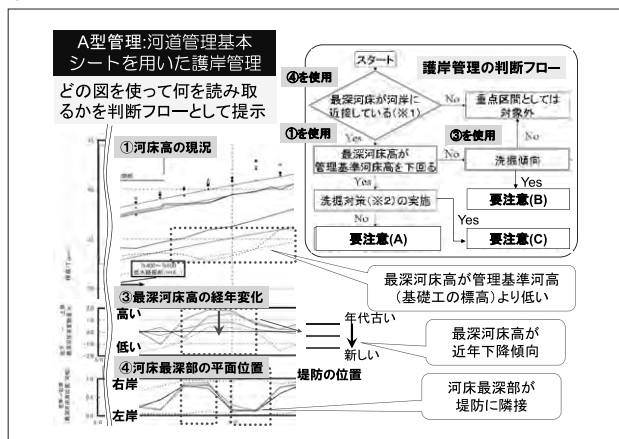
高の縦断分布図の経年変化を示したものです。下が最新河床高です。砂利採取等で、経年的に青から赤に向かって時代が新しく河床低下が進行しています。近年は、ずいぶんひどく低下してしまっているところがあるというのが、この例です。もしも横断形状が一定だったら、あまり最深河床高が下がらないはずなのですが、ここだけすごく進行してしまっているところが、平均河床高が下がる以上に局所洗掘だけ進んでいるといったようなところの現れです。それが、オーダーが違うぐらい進行してしまっています。(スライド14)

横断図で見るとこんなことが起こってしまっていて、どうも調べてみると、もともとここは小礫の川だったと思ったのですが、その下にあったシルト層が河床に露出してしまって、シルト層がポーソソと抜けてしまったら、下が砂礫層だったので、あっという間に穴があいてしまって、ここまで深くなってしまったと。パッと見た感じ、堤防の高さよりもずいぶん深いところまで洗掘されてしまいました。

ただ、雑談ですけども、最近、堤防際のところもちょっと深くなり出して、ここもまたポコッと穴があいてしまったら大変だということで、事務所には「何かすぐ対策しよう」と言っているところです。

こういうことが起こり出してしまうと、管理上、非常に苦労してしまいます。これは礫の川が砂に置き換わってしまった場合です。局所洗掘が礫を抜けてしまって、砂のところに入ってしまったので、そ

● スライド14



の地盤だけ局所洗掘が大きくなってしまったというわけです。砂州が移動していくと、一度埋め戻ったように見えてしまうのです。ただ単に、最深河床高の位置がずれたからだと思います。横断図上は埋め戻っているのですが、埋め戻ったのではなく、最深河床高の位置は、位置を変えながら下流にだんだん移動しているといったようなものだと思います。

こんなに深くなりますので、当然川岸が危ないし、堤防高と同じぐらい掘れていますので、よく堤防が持っているな、ということにもなってくると思いますので、やはり河床材料が置き換わると洗掘が急に進んでしまうことが起きるということを思うと、非常に管理しにくく、こういった問題に対処しなくてはなりません。

では、こういった局所洗掘を抑制するためには、供給量を増やしたら、ということも当然考えるわけです。そうしたときに、先ほどと同じで、どんな魅力があるかといったことをやってみようということです。

上流端が河床低下傾向にあるところに、では上から供給量を増やして入れました、という図にしています。ですので、先ほど安定河床勾配からスタートと言いましたが、dがついているときは低下傾向になっているということだと思ってください。そうすると、うまい具合の Q_{su} を入れれば、当然低下の抑制や防止ができるということです。あわよくば、昔の

河床高まで年々上げていくこともできるでしょう。当たり前ですが、ここだけが低下している時代に上流から量を増やしてやっても、まだまだ下流の河床の掘削土量は Q_{so} というもので進むといったようなことになります。(スライド15)

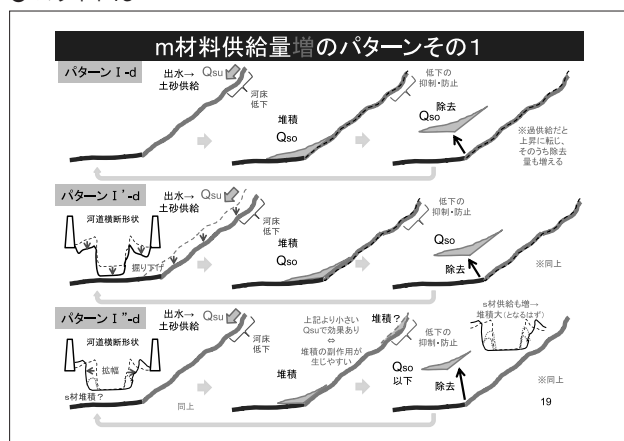
パターン I"-d です。これは川幅を広げてしまった例ですので、もしも仮に同じ量を入れてしまうと、ここでちょうどよい具合だったとすると、低水路部で若干堆積してしまうだろうといったことが起こるということです。ですので、これはむしろ同じ量を入れるよりは、これと同じだったら、この Q_{su} というふやし加減をこれに比べてちょっと少なくできますよ、というぐらいで考えておいたほうがよいのかもしれないと思っています。(スライド15)

ただし、副作用としてやはりその調節を間違えると、過剰に堆積してしまうので、どちらをとるかというようなことになってくると思います。

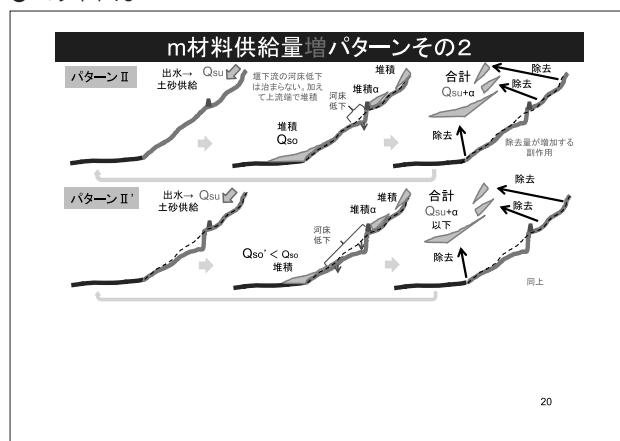
パターン II です。この場合は、dを取っています。ですので、この低下に困っているから、仮に上から土砂量の供給をふやしたらどうなるかということ考えた人がいたとしての話です。そうすると、もう皆さん既にご存じかと思いますが、ここに溜まってしまっただけで、ここには土砂は行きませんので、結局もっと掘削土砂量が増えるという悪循環に陥るといったことになっていくだけだということです。この下も同じ、然りです。(スライド16)

では、これはどうすればよいのかということにな

● スライド15



● スライド16



ると、上から入れるのではなくて、当たり前ですけれども溜まったものを下流へ流せばよいのだと。それを下流還元と呼んでいますけれども、そうしてやることでこの河床がこのぐらいだったのが結構早く戻ってくるし、この場合だったら結構早く戻ってくるし、これだったら徐々に戻っていきだろうといったようなことです。

そのときに重要なのが、必ず心配されるのですが、ここに溜まったものを下流に入れると掘削土が増えるのではないと言われるのですが、少なくともこの状態だったらここを埋めるだけなので、この掘削土量は増えないと。こうやって図を描くと、瞬間的に思ってしまうのですけれども、直下流へポツと入れると下流で増えてしまうというふうにすぐ思ってしまうのですが、必ずしもそうではない場合もあるといったようなことです。

ですので、「供給土砂量増は魅力的か」ということで、最後のまとめを書いておきますけれども、「河床低下発生区間の直上流で供給量増が効果的である」と。先ほどの還元もそうですし、この上流端が下がっていてもそうなのですが、それ以外ではむしろ副作用が出てしまうという当たり前のことです。

さらに、留意事項として、「砂供給増の場合、供給の仕方によっては、礫セグメントの河床に砂が優位に堆積する（砂床化）場合がある」ということです。増やすというやり方はよいのですが、例えば砂セグメントでこれと同じようなことが起こっていて、砂の量を多くしましょうと。ここは礫の河床なので、礫のところはスルッと行ってくれるはずということを前提にしてしまうと、入れ方によるとその砂が礫のところに溜まって悪さをするというようなことです。これは後でもう少し詳しく扱います。そういうことが起こり得るから、簡単ではない。そういう副作用もあるということを一応注意書きで頭出ししています。

したがって、礫供給量増のみに頼り切るのではなく、他対策と組み合わせ、個々の対策のデメリッ

トをメリットで打ち消すバランスのとれた対策をす

ることが重要です。最後に、ここまでやったことの結論ですが、今回私なりに考えた、供給量を明示すると河道設計は魅力的かということについては、実現への道のりとして、供給土砂量を明示的に、設計条件を加えることは特効薬にはなり得ないということです。増やしたり減らしたりすることがすぐにいろいろな課題を解決してくれる、これさえやっておけば、河川で別に何もやってくなくてよくて、上流から土砂を増やしたり、減らしたりするだけで河道設計が急に楽になるかと思ったら、そんなことは全然なさそうだということが、このパターン分類からわかってきたような気がします。

ですので、いかなる場合でも、量の減、低下抑制などとして早期に現れることはないということがわかってきました。河道の条件が整っていないと、そうした効果が薄い・現れず、場合によっては副作用のほうが顕在化することすらあるということです。

ですので、特に着目したいのは、河道横断形状とここに書きましたけれども、やはり横断形状をかなりいじるということが、即この堆積であったり、こういったところを減らそうといったことに効果がわかりやすく出やすいということがありますし、河道の中で唯一積極的にセグメント全体を通して土砂の流送量を変えるのは、やはり川幅を変えていくようなことだといったことを書いたつもりですので、そうするとやはり川幅をいじるとことは、土砂が河道の中をどう流下していくかといったことを把握することは、かなり魅力的で、やりたくなってしまふようなことであるということになります。

ただし、それは非常に副作用もはらんでいて、川幅縮小や二極化などの川幅の変化の問題に対処するというのをあわせてどう考えていくのかと。そういうことが生じない河道区間だったらよいし、生じるのであればしっかりやらなくてはいけないということについて、真剣に考えていかないとはいけません。

さらに、礫河床に砂供給増では、それが溜まってしまつて、礫の川が砂になってしまうというような

変なことが起こらないようなことを考えなくてはいけないのですが、これは新しい問題なので、今はなかなか技術がないので、そういったことまで考えなくてはいけないということです。

ですので、最後は当たり前ですが、特効薬にはなり得ないので、これまでやってきたいろいろな護岸の管理等との連携が重要だといったようなことです。河道と構造物の管理ということで、上から供給量を減らしても、根固め工を入れて、根入れが足りないところは入れます。しかし、その度合いをこういった前の川幅の変化等で調整する中で、どうやってトータルとして管理しやすい河道にしていくかということが、やはり有効な策でしょう。その中で、やるとしたら河道での土砂流送をより積極的に整備する河道設計・管理への進展と。言うなれば、川幅をもう少し変化して、これだけ広げるとここはこれだけ下に行くはずだ、ここは洗掘する、堆積するということだけは、一生懸命川幅を変化させてやっていましたけれども、もう少しフラックスというか、ここをいじったら下流はどうなるという受け渡しのところはあまり見てこなかったもので、そういうことも明らかにすべきですし、ひょっとしたら下流還元みたいなことをもう少し積極的にやってみてもよいのではなかろうかと。誤解が生じているようなところもありますが、例えば下流に土砂をポツと入れると、ここの掘削量が増えるのではないかということも、場合によっては当然あるかもしれませんが、ない場合もありますので、それだったら、上流に戻ってしまったほうが、土捨て場の処分地としては安上がりになるはずですから考えてみたらどうですか、みたいなことも積極的に柔軟に入れていかないと、どうも総合土砂管理の中の河道の設計というのは窮屈なものになってしまうのではないかというようなことです。

やはり多分そうだろうと思っていた「特効薬にはなり得ない」ということは、こういった簡単な整理でやってみてもやはりそうだなと思いましたが、では、いざどうやってそれを乗り越えるかということ

を、今考えているところです。川幅の変化等々を見たらうえて、もう少し河道の中を流れている土砂がどこへ詰まって流れなくなって、どれだけそこでとどまっているのか、それを下流に流すことで、洗掘で困っているところがどれだけ和らぐのかを明らかにすることで、どんなメリットが起こるのか、まずはそこからしっかりやっていこうかというのが、総合土砂管理の中での河道の設計をいかにうまいものにしていくかという観点としてよいのではないかということで、今日は話させていただきました。

では、それを実際にやっていこう、その道を歩んでいってしっかりやっていこうとなると、何ができている・できていないのかを整理する必要があります。「河道を対象とした土砂管理とはどうやるか」ということで土砂の管理図のようなものをつくるとか、土砂の管理をするという見方をきちんと作りましょうということです。

それと川幅、または土砂バイパスみたいなものをうまく使っていくようなやり方、そのときに川幅がどう応答するか、特に供給土砂量の変化に対して鈍感であってくれればうれしいが、敏感ではないだろうかということについても答えを出してみても、川幅をどれだけ積極的に動かしているのか、「m」材料の堆積を減らすつもりが、「s」材料の堆積で悩むみたいなことがなく、トータルとして管理しやすくなるかということについて、積極的にやっていけばよいのではないかというようなことが、ちょっとできていないかなというようなことでしょうか。

礫床面上の砂堆積、これは全然できていないので、今回はここを重点的にお話したいと思っています。

最後の、「m」材料に対する河床変動計算、これはいろいろ工夫されているので、そろそろ先ほど言ったようなバランスをしっかりと見るという計算が河床変動計算としてしっかり出てきてもらわなければ困る時代だと思っています。それだけのデータも蓄積してきたと思います。

砂利採取は遅い川でも平成10年ぐらいに終わっているようですので、これからもう17年、長い路線だと30

年ぐらいほぼ洪水だけの変動が河床で見えています。その前段の河床は、砂利採取でかなり掘った河道もあるわけです。そうすると、かなり掘り込んだら河道が洪水にどう応答するのかというデータが、長い河川だと30年分あるはずです。そうしたら、それが再現できるモデルをきちんと作ればよいというだけのことを言っているのだと思っています。なので、多分私たちの先輩の時代、昭和ぐらいの時代の人、砂利採取の影響ばかりで見えなくて、この河床変動計算が合っているのかいないのかわからないというのは言いわけとして成り立ったのかもしれませんが、私たちの時代はもう言いわけとしては成り立たないのかなというような、よいデータが集まった時代だと思いますので、そういう意味で、最後は期待を込めて「基本ツールとして使いこなす」ようなことができるように、技術的にやっていかないといけないと思っているところです。

では、資料3（治水機能確保を主軸に据えた場合の総合土砂管理（with ダム給砂））のほうに進みたいと思います。

まず、前提としたことについてですが、ダム容量確保が総合土砂管理の牽引力となる事例が多いと。やはりダム堆砂が進んでしまって、容量がだんだん従前の機能を発揮できるようところまで達しなくなってきました。やはりどうしても容量を回復したいというところが発端となる場合があるので、それはそれで牽引力として重要なので、ここでこれから話し出すのは、ダムからの調節である場合の総合土砂管理というふうに話を限定したいと思います。

しかし、これは相当難易度が高いテーマですので、一般的なアプローチ、手法を開発して、つまり河床変動計算みたいなものをつくって、ではそれがうまくいったならば、現地につくって事業化してやっていきたいと思いますということでは、もう間に合わない。難しすぎると。やはり現場でいろいろ実験して、試行錯誤しながら、しかし事業も進めていくというようなアプローチでやらないと、もうちょっと難しいなというふうに思っています。

皆さんご存じかと思いますが、総合土砂管理と

言って、もう10年ぐらいが過ぎようとしていますけれども、こういう場が設けられるのは、なぜあまり進んでいないのだろうかということの裏返しだと思います。今日もその10年間、こういうことが進んできて、こういうやり方がよいということよりは、なぜ進んでいなくて、何が難しく、ということが議題になっていると思っています。ダムから砂を出す、簡単に言ったけれども、やはりまじめに考え出すいろいろな難しいことがあって、机上検討して「こうだ」「こうだ」とやってきていましたけれども、いざ本当に現場でできるかといったら、やはり難しく躊躇してしまうのです。

では、その10年間の反省ということを含めて、きちんとそういうことを現場でやりながら事業を進められるような、ちょっとおもしろいやり方でやらなければいけないということが書いてあると思っています。

それで「応用度アップの道筋をとる」ということで、そういった個別事例からやって、最新のマニュアル本にあるようなものではなくて、個別事例でうまく生かして、だんだん性能のよいものを作っていくといったほうへ進んでいくような考え方でいこうということです。

「重視すべき観点整理」ということで書きましたが、まず1つ目に、これは礫を岩河床や礫河床に出すという意味です。砂を砂河床に出す、砂を礫河床に出すという意味が最後のものです。僕のイメージなのですが、その順に技術的な難易度が上がっているという感じがします。やはり礫は置き土とかいってガサッと置いていても、ガサガサと削れて徐々に入っていくので、まあそんなものかなという感じがするのですが、砂でそれをやってしまうと、特に石が埋まってしまうということが起こるので、だから、石の河床は砂がバーッと供給されますので、行ってしまうと。特に小さな流量のときに、砂がたくさん削れてしまうと流せない、石の上を砂でふたをしてしまうようなことが起こってしまうので、石ほど雑に供給してはまずだろうと。やは

り砂は砂なりにきちんと調節しながら、たくさん流せるときはたくさん、少ししか流せないときには調整するというようなことをしてやらないと、河道の中で調整させるととんでもないことが起こってしまうといったことが見えてきました。

特によく言われるのが、やはり石の川が砂で埋まってしまうと、それでいろいろな環境の問題になりますし、川を利用されている漁協の皆さんに大変な迷惑をかけてしまうので、「もうやめてくれ」ということになってしまって、そういった試験的なことすら止まってしまう場合があるので、段階的に砂の排砂量を増加させ、環境への影響を回避するというのをかなり慎重にやっていかなければいけません。

「最終目標のみでなく、段階目標を設定」というのは、段階的に砂を大きくしていく事業しか進めないで、ではその段階ごとに何を到達するのかということをしきんとやりなさいといったことを書いてあるということです。

その中で、非常に難しいので、ワンポイント排砂方式も検討と書いてありますが、いきなり完成品の供給土砂装置を作れるわけがないので、しかし現場では土砂を供給しないとデータが上がってこない、知見が高まってこない。そうなってくると、もうある意味手戻り承知だと。当初の目標にすると、性能は半分、またはそれ以下かもしれないけれども、砂を供給するような装置を作ってくれと。そういったような試験的なことをやらせてもらわないと、また同じ10年の繰り返しになるというようなことを強く思いまして、途上段階でのワンポイントというようなことを書いたということです。

これは結構事業としては大変なことになってくると思いますが、しかし、進まなかった反省をとらえると、やはりこれぐらいのことは考えなくてはいけないということです。

最後に「砂などの細粒土砂を出すことへのアレルギーを和らげる」ということで、先ほどの失敗をしないようにということでもあるのですが、逆にもっとよくするぞ、というようなことも、事業を円滑に

進めていく上では必要なことであつたので、そういった仕掛けも多分に取り入れていくということが、このやり方としては重要だろうと思います。

ではこういったものをどうやって進めていこうかといったことになってくるわけですが、基本スタンスとして5つぐらい挙げています。まず、「ダムの長寿命化により一段大きな視点→水系トータルとしての土砂管理、治水安全性確保という治水システムの管理が目的、総合土砂管理はその実現のための一手段」ということです。どうも最初に、ダムで治水容量が不足しているので排砂しますとあって、ダムの管理を容易にすればよい、みたいなことになってしまっていますけれども、総合土砂管理ですから、下流にある河道の問題もクリアできればよいし、もちろんその下に海岸があるわけですから、全体として、うまくいくように考えなければなりません。ではうまくいくというのは何だと。まずは治水は絶対だろうと。治水の安全度が向上するような土砂の出し方をしよう、または溜め方にしようということを徹底することです。たとえ治水容量が回復できたとしても、変な出し方をしてしまって、下流の河積が埋まってしまって、それで維持管理が大変になって、溢れやすくなるとか、量は同じだけ溜まるけれども、一番守らなければいけない目の前に溜まったところを浚渫するのがよいのか、それより上流のどこかに溜まっていて、そこで浚渫するほうがよいのかということも考える必要がある。トータルの管理も考えなくてははいけません。

そうしたときに、やはりシステムとしてお金の面、安全の面で一番合理的な溜め方の方法というようなことを考えていくべきだろうということです。

2つ目に「河道内土砂掘削（場合によっては再置き土）とダム排砂を併せたトータルの土砂管理として、管理の容易性を向上しなければならない。」ということです。先ほどの例でいくと土砂管理みたいなものですね、それとダム排砂を合わせたトータルの土砂管理として、管理の容易性を向上させましょと。ダムのところだけで出す、出さないと量を調

整するだけではなくて、その下流の河道の中でもしっかり合わせてやりましょうと。そして、ダムで出す量、ダムから直接土捨て場へ行ってしまう量を含めて、トータルとして一番コストが安くなるということを考えてみましょうということです。

3つ目に「治水安全性確保に対する信頼性は損なってはならない」です。守りたい地先のところに溜めるのか、というのが象徴的な例ですけども、お金だけ安くなればよいというものではなく、信頼性を損なわずにやりましょうということです。

4つ目に「治水システムの管理を行う上で、マクロに全体としてとらえて生物・生態系に影響がない、極力向上させることが重要。その上で、ダムで供給を低減させていた粒径集団の排砂による環境回復の努力を上乗せする、という基本スタンスの徹底」ということです。過剰に期待されても困るということの別な言い方かもしれませんけれども、砂をたくさん出すということに特に関連する話です。少なくともダムがある現状が環境としてよいとは思っていないですから、それよりもさらに悪くなるようなことは、このダム排砂を始めたからといって起こるようなことはさせないようにしましょうというのが、ここで言っているアセスメントという枠組みです。

その上で、砂が出せることでもっとよくなる項目があったら、積極的にそれをしていきましょうと。その2段階は必ず分けましょうということを言っています。

ですので、よくある「環境がよくなないと、やる必要はないのではないか」ということではなくて、まずは治水を主軸に据えてやれば、まずはアセスメントという形で、環境は今以上悪くなることはないということをしっかり言った上で、努力目標として、さらにこういうことも挙げられるのだという、この2段階の説明をすることが重要です。段階的に事業を進めていくときには、そのアセスは各段階で必ずクリアすると。努力目標は徐々によくすればよいというふうに、目標の設定の仕方も違ってきますので、その2つを混同しないようにしてほしいといったよ

うなことです。努力目標が満足されないからといって、次の段階へ進めないのではないというようなことで考えていきたいと思います。

最後に先ほどの努力目標みたいなものですが、「上乗せする項目は、事業の円滑な実施を促進する観点も重視して選定すること」と。やはりよい面として、これでお魚が増えるということだったら賛成してくれる人も増えてきますし、やり方も本当にバリエーションが増えてくるかもしれませんし、また漁協の方もよい川を作る技術を持っているのですね、重機等でガッツとやって、新しい床を出してくるとか、そういったよいコラボも生まれてくるかもしれないということがあると、やはり総合土砂管理ですから、場所的な総合ではなくて、行政や民間などの立場的な総合もあると思いますので、そういった協力が得られるようにするためにも、やはりこういった仕掛けもぜひ入れたらどうかと思います。

こういった路線で進めていくということになりますと、ステージという整理をしていますけれども、段階的に土砂を増やしていくような事業の進め方になっていくだろうといったことをまとめています。

ファーストステージとして、現地実験で「主に置砂による基礎実験」がありますが、そういうものはずいぶん昔から始まっています。いくつかおもしろい事例をここに持ってきましたけれども、1つが長安口ダムです。これはもうご存じかと思いますが、県のダムだった長安口ダムというのがありまして、このダムの上流ですごい土砂の大崩落がありまして、このダムを直轄に編入しまして、治水で使っていこうと。その上では、上流に溜まっている大量の土砂を下流に出さないと、治水容量を確保できないため、始まった取組です。

すごい大量の土砂を川岸の道路から河道に向かってバーッと減水時に落としていだけ、まあ置き土ですね、そうやってバーッと洪水に流していくということをやっているところです。ここから何カ所かで、場所を分けて、こういった置き方でやっています。

そうすると、これは縦断図です。この辺にダムが

あって、その下に今言ったような排砂をしたのがこのあたり、これがある年のもので、次の年、次の洪水のときのものですが、ここに置いた土砂が流送されて、河床が上がった範囲が、横断測量でも明確に河床が上がってくるのが見えるようになりつつあります。下流は岩河床だったのですが、礫を供給したら、礫床が復活するというのです。そのような区間がバーッと延びてくるのが目に見えてわかってきたというような事例です。

そういったものが、こういった空中写真だったり、現場の写真で見えているのですが、このような状態だったのが、だんだん細粒分が目立ち、そこに礫が存在する場合というように、礫が回復してくるような砂州みたいなものが増えてきたことが分かります。

これは礫の実験だったのですが、砂の実験も天竜川でやっていまして、秋葉ダムというところの下流で砂を、また小礫ぐらいのものも入っていると思いますが、置いてやっています。ここも数万 m^3 オーダーですね、3万～4万とか、そのぐらいのオーダーのものを置いてやっています。

これは国総研もかなり関わってやらせていただいたのですが、秋葉ダムがあって、その下流に気田川という支川が入って、それが初めて大きい支川が合流して、そこまではあまり支川の土砂供給がないという区間です。そこに砂を置くと、どれだけこの辺の礫に砂が詰まってきてしまうかというようなことを、実験で試したところでした。ですので、礫河川の上に砂の置き土をして、この辺の砂の詰まり具合がどう変わっていくかを見たというような現地の試験です。

今、一生懸命データをとってもらっているところでして、置いた砂が洪水中どれだけの速度で削れていくかというのを、橋の上から観察してもらって、そうするとこれだけ土砂を供給したことになるでしょう。そうすると、その結果として砂が詰まっているか、詰まっていないかを観察していこうというようなことを、今続けています。

こういったものを段階的にずっとやったあげく、

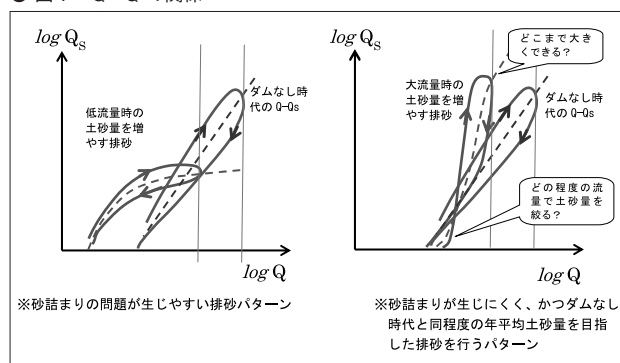
セカンドステージとしては、実験結果を受けて、これからお話しするようなモデルを組んでみて、この土砂の出し方だったら、まず変なことにはならなそうだから、パイロットとしてその排砂をやってみようじゃないかということを考えています。

端的にどんなことをイメージしているかというのが、この図です。これはログにしていますので直線にしていますけれども、流量と土砂量、流量のフラックスですね、土砂供給量と言ったらよいのか、土砂通過量と言ったらよいのか、よく流量の二乗に比例すると言われていたようなものです。それが、ダムがない場合と、ダムができてしまったので、今はダムの直下だったらこれがほとんどゼロになってきて、横ばいになってしまっているといったところに対して、では排砂しましょうと言ったら、どのような形で排砂しようかというのが、人為的にやった場合というのを示しています。(図1)

これが砂ですけども、当然昔の洪水より小さい流量でたくさん砂を出してしまうと、溜まりやすいと。ですので、基本的には多分こういった小さい流量のときにはあまり砂を出さないで、大きい流量のときにたくさん砂を出すことになりそうですから、こんな形がよいのだろうと思っているわけです。つまり、ある流量以上では2倍、3倍出すけれども、流量が小さいときはグッと絞り込んでやると。

黒部川の痛い事例がありますね、パターンと倒して、最初は通しっぱなしにしていたのかな、後ろのほうをちょっとうまくやらなかったら、非常にたくさん溜まって問題になったことがあったと思います

● 図1：Q-Qsの関係



し、先ほどの天竜川の置砂の実験でも、やはり中途半端な出水が来てしまって、直下では砂だらけになってしまったりしたのです。そうすると、やはりこの辺の始末というのですか、どうきれいな水を流して、最後に土砂が溜まっていない川に戻すかというのが非常にテクニック上重要で、ポンチ絵ではなくて、具体的にどう変えたらどうなのだということとを技術開発しなければいけないというようなことが重要になってきます。

最後になりますが、資料4（流量 Q ・土砂流送量 Q_s に応じた砂の礫間詰まり具合変化の予測）を使って具体的なところについて、今どんなところまでわかってきているのかについてお話しできたらと思います。

ねらいは先ほど見ていただいたように、どこまでオリジナルに、ダムのなかった時代に近づけていくのか、どこで土砂を出すのをやめようかと。逆に言うと、どこから上だったら2倍、3倍出しても大丈夫なのかということとを、ちょっと机上検討してみよう。そんなうまいような土砂量がうまく設定できるのかということについて、机上検討してみました。詰まり具合の変化速度はどの程度か、というようなことがそんなことです。

やったことは、模型実験です。当時の河川環境研究室で藤田さんが室長をされていた時代だったのですが、こういったモルタルの半円球を河床にパーツと並べまして、そこに砂をたくさん流すと、ちょっとしか入れていないときはスカスカなのですが、あ

る程度たくさん流すと、この模擬石の間に砂が溜まってきます。この濃度を大きくすると、だんだんこの砂の詰まりが上がってくるというような実験をして、それを一度モデルにしてみましょうということをやりました。（図2）

モデルをつくった結果がこれだということです。ある同じ流量でずっと流していると、土砂量だけをどんどん濃くしていくと、だんだん砂が埋まっている高さが高くなってくると。その高くなってくるものを測って、土砂濃度との関係を示しました。（図3）

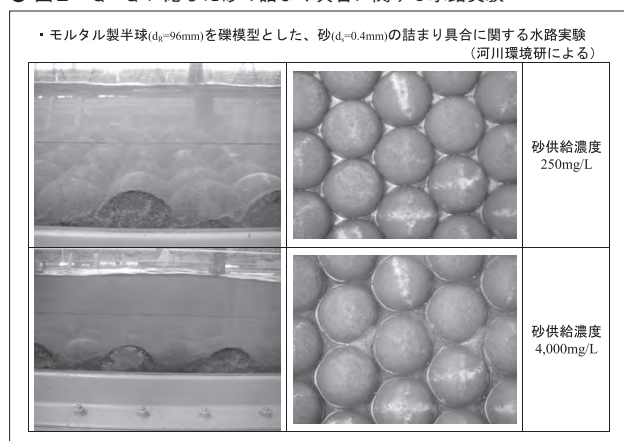
実験値と計算値が合うように大体いろいろ過去のモデルを使うとうまくフィッティングできるようなモデルができたので、ではそれを使ってやってみましょうといったことです。

こんなものを使ってやったということです。仕掛けは非常に簡単で、掃流力を、石の下のほうだとちょっと小さくするという補正係数みたいなものを入れたということです。遮蔽係数とかいうのですが、ここだとフルに砂を浮かせる力が働きますが、砂面がこのぐらいの高さだと、その力は4割減にしてくださいとか、そのようなことで普通の河床変動計算をしていくという形です。この石の間の空隙に砂が入る、入らないという計算をしていこうということです。

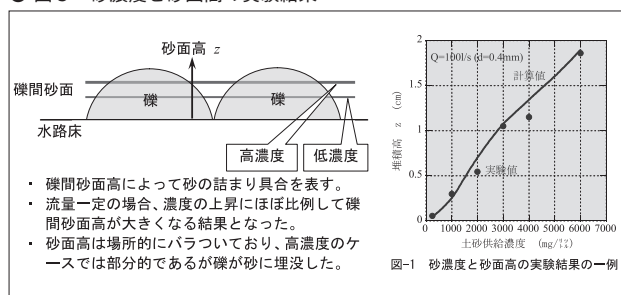
以降、1というのを全部石が埋まってしまったと、ゼロというのは全部石が露出している、0.5だと半分埋まっているというような形でお話ししますので、聞いてください。

モデル河道は、天竜川です。先ほど、秋葉ダムに置砂をしましたと言ったところの区間です。気田川

● 図2：Q- Q_s に応じた砂の詰まり具合に関する水路実験



● 図3：砂濃度と砂面高の実験結果



というのが入ってくるのですが、ここからここまでの間をモデルにします。大体8kmぐらいの区間についてやっています。ダム直下流なので、少し礫の粒径が大きくなってしまっていて、15cmぐらいだったかな、平均年最大流量が2,500~3,000m³/sぐらいだったと思いますが、6,000m³/sでもなかなか石の材料が動かないようなところだったと、この当時の試算ではなっています。ですので、6,000m³/sぐらいまで石が動かないと思って、砂がどんどん詰まるようにするかというのを簡単な計算を試みたといったことです。

こういった河道諸元については現地の値を使っていますけれども、横断形状等は全部フラットです。同じ川幅の平坦な場所がずっとあるというものです。瀬や淵があるとか、湾曲等はなしです。なので、1/580で幅250mの6kmの直線低水路があったとしたら、どんな応答をするだろうかを調べただけです。

もともとの秋葉ダムや佐久間ダム等のダムがないときのオリジナルのQ-Q_sがわかっていますので、ダムに堆砂しているときから逆算していますので、それを与えた場合と、実際0.073倍というのが、その残留域で今の現状でなっている状態ですね。だから、ダムができたことで7%ぐらいに今は減っているという感じですね。そういう場合と、2倍、3倍にオリジナルから増やした場合はどうなるかということをやりました。

まずは一定流量を流して、Q-Q_sをオリジナルのものだということも固定して計算した場合に、どんな高さに落ち着くかを計算したものがこれです。基準と言っているのがオリジナルのもの、ダムなしのときです。1,000m³/sぐらいが一番小さくなって、そうすると0.3ですから、下から3割ぐらいが埋まっていると。500m³/sぐらいになると0.4ぐらいということで、よく実際の川へ行くと、まあそんな感じかなという範囲の計算が出てきたので、まあいいのかな、ということですね。グーッと大きくしても、まあ0.6ぐらいで頑張っているぞと。しかし、ダムができてしまってかなり供給量が減ると、やはりゼロぐらい

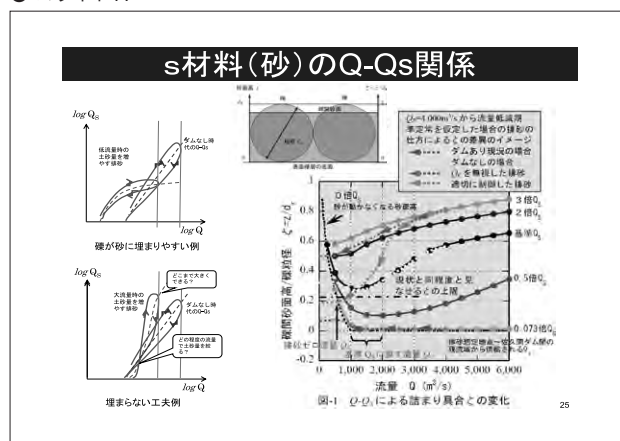
になってしまっていて、いよいよ小さい500m³/sが、もしも仮にずっと流れ続けるとすると、このぐらいまで来てしまうということです。(スライド17)

これを見てふと思ったのが2つのことがありまして、この辺の流域はこれを見てわかるように、これを基準にして何倍になったかというのですが、このあたり、ちょっと流量がへこんできたところですが、1,000~2,000m³/sぐらいですね、平均年最大流量を少し割ったぐらいですが、ちょっと土砂の量を2倍、3倍にすると、基準に対して変動量が大いというか、振りが大きいと。基準を1として何倍になる、というグラフです。(図4)

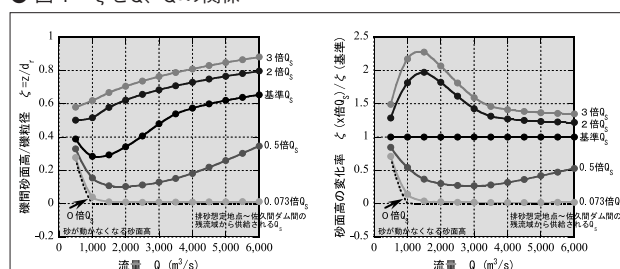
もう1つが、ここはなぜ同じぐらいの値になってしまうのだと。これだったら、ダムなしでもダムありでも、今、砂の詰まり具合は一緒ではないかというぐらいしか変わらないではないか。何かおかしいな、この計算は合っているのかなと思ったのです。

ですので、この2つのことに着目して、今後検討しましょうと。特に、ここがヒントになるかもしれないと思ってやったのです。

● スライド17



● 図4：ξとQ、Qsの関係



その前に、まずはここが現実とうまく折り合いがつかないので、ではこれは定常計算してしまったので、きちんと洪水の波形を入れたら、ここにきちんと差違が出てくるかどうかと。洪水が終わったときに、ここまで実は回復しないで、こちらの段階で終わってしまうということが起こり得るかどうかということを、ちょっと計算してみたということです。

やったのが、この絵です。1,000m³/sとか2,000m³/sだったか、500m³/sだったか、それが何日ぐらい続くか、何時間ぐらい流量として続くかというのを、実際のハイドロから拾ってきたわけです。1/2の流量規模だったら、1,000m³/sぐらいというのが大体半日ぐらいかなと。500m³/sぐらいの流量が2.5日ぐらい続くと。1/10流量規模だと、それが4日間と4.5日ぐらいになる場合があると。そうしたときに、ではこの時間があれば、先ほど言ったようなこの定常にきちんと吸いつくのかと。8kmの区間ですね。そういうことを計算してみたというようなことです。(図5)

そうした結果、まずここからここにプッと上がる場所ですね、最初は1,000m³/sぐらい流れていて、では3,000m³/s、4,000m³/sになったということは、では1,000m³/sの河床高を与えておいて、4,000m³/sになったというところまで計算してみたら、こちらが上流端で、8kmが下流端です。上流からだんだん砂が溜まって行って、高くなっていくのは下流に進行していくという例です。それが大体1時間から

ないでも6kmぐらいまで行ってしまうので、まあここはあっという間に埋まってしまうのかなと。流量の増水期はですね。(図6)

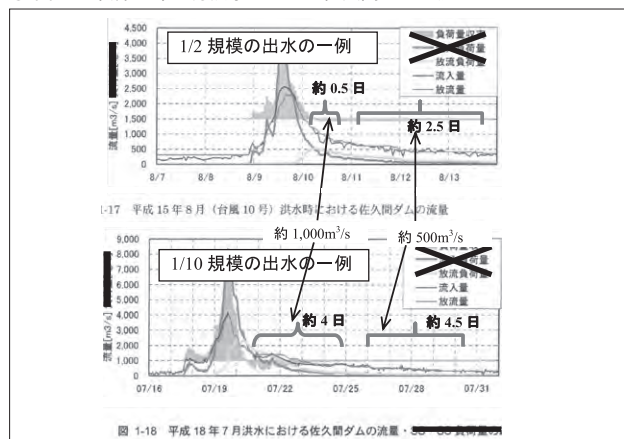
では、減水期にきちんと減るのかどうかというのが、次のページのこれです、では4,000m³/sから1,000m³/sに減らしたときに、4,000m³/sでここまでの高さだったのですが、では1,000m³/sまで減らしていったら、1,000m³/sはこの高さになるのですが、その高さに全部なりきるのに何時間かかるかという計算をしています。

そうしたら、これは10時間ぐらいで1,000m³/s相当の河床高に6kmぐらいまでになってしまうのだと。こちらは1,000m³/sから500m³/s。それはどれぐらいかという、やはり10時間ぐらいだったかな、そんな時間です。先ほど半日とか何日とか言ったので、どうもダムなしのときはそのぐらいの速度にピューッとなってしまうので、ほぼ先ほどの定常の計算の見方でよいだろうということになりました。(図7)

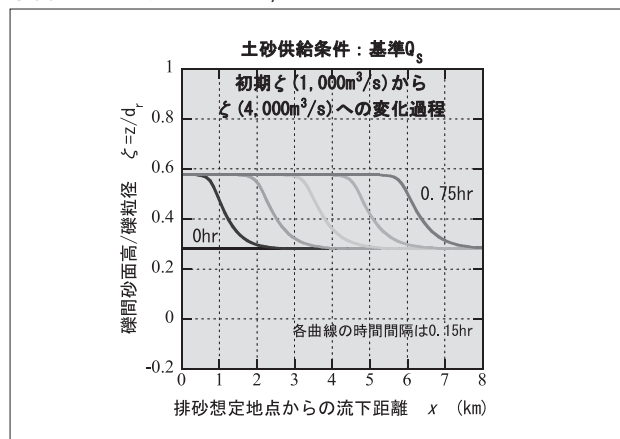
ただ、ダムなしのとき、0.073倍になったときに、1,000m³/sから500m³/sへの変化過程、先ほどの図でいうと、ここですね、1,000m³/sから500m³/s、0.023、0.03ぐらいか、グッと復活するところですね、ここについて、ではどのぐらい、全域、6kmがこれになるのに時間がかかるのかを計算したのが先ほどの図であります。

そうすると、これはやはりめっちゃくちゃに時間がかかって、簡単に言うとならないと。ゼロからスター

● 図5：平成18年7月洪水における佐久間ダムの流量



● 図6：ピーク流量における



トして、先ほどの0.02程度のところへ行くのに、48時間かかってようやく1 km行くぐらいだということなので、なかなか到達しないということなので、ひょっとすると上流では溜まっているかもしれないけれども、もっと下流のほうではスカスカに隙間があいた状態で、0点幾つのところまで復活しないで見えているというのは、やはりそういうことなのかもしれないということがわかってきました。

当然流量は減って、砂を流せる量が減ってきますので、砂が入っている量が0.073倍で、非常に小さいので、抜いていく層の厚さに対して、運んでいる土砂の量が小さいので、なかなか下流に下りていかないということで、やはり当たり前ですね。定常状態ではないので、やはり差は出てくるのだろうということでよさそうなので、とりあえずこの計算は定性的には現地の状況を表しそうだということで、使うことで納得したといったことです。

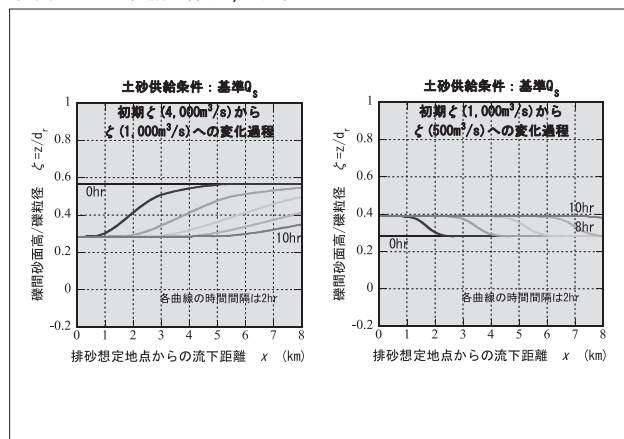
そうしたら、先ほどの倍率が大きく開くところが、詰まり具合の変化速度として見たときに、どううまく使っていけるだろうかということを計算したのがこれです。1,000m³/sぐらいのところに着目しました。皆さんお手元のレジュメで見いただければわかるように、1,000m³/sぐらいのところが、どうも水色のところとといいますか、2倍、3倍入れたときと標準のときに対して、2倍ぐらい堆砂量が増えています。半分にすると0.5ぐらいになってしまうということで、感度がよいというのですか、3,000m³/sぐらいになっ

てしまった、4,000m³/sぐらいになっていると、2倍、3倍入れても1.2倍とか1.34倍とか、大して変わらないと。そうすると、この感度のよいところをうまくやらないと変なことが起こってしまいそうだったので、では仮にそれを1,000m³/sと決めて、ここでどう近づけるかを計算してみようということをやったのがここです。

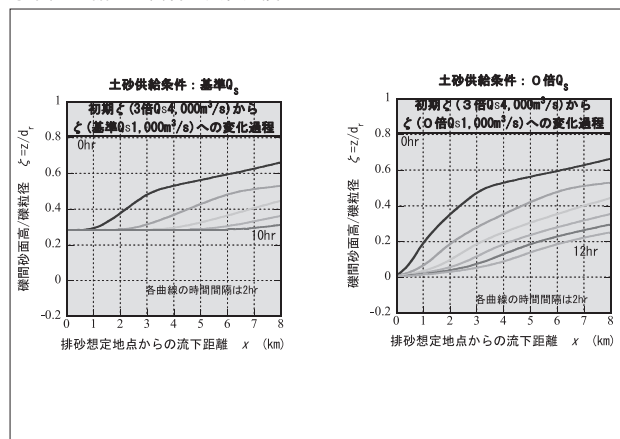
ピーク流量時前後で大量に排砂しても、1,000m³/s程度のときに基準Q_sに戻せば、礫が砂に埋まっ溜まることが防げそうであるというのを図に示しています。ただし、1,000m³/s程度に排砂をゼロまでにしてしまうと、逆に砂が抜けて落ちてしまうといったことがわかったと。これが4,000m³/sのときの砂が詰まっている状態ですので、そこで急に1,000m³/sまで落としたと。基準Q-Q_sだと、この辺まで落ちるだけで済むのです。0.3ぐらいのところを維持してくれるわけです。うまくいきそうだなと。しかし、遠慮してしまって、ではもっと安全に、少なくしてしまおうかとやって、下に振り過ぎてしまうと、今度は逆に全部バーッと12時間ぐらいでここまで行ってしまうので、下がり過ぎてしまって、今度はまた骸骨みたいなやつが出てきてしまうと。1,000m³/s以上でたくさんワーッと出してもよいのですが、1,000m³/sぐらいのところで少し出し過ぎたり、少し減らし過ぎたりすると、それがかなり結果に影響してくるというところが見えてきました。(図8)

1,000m³/s程度時に適量を排砂すれば、砂の抜け落

● 図7：流量低減に伴う ξ の変化



● 図8：詰まり具合の変化速度



ちが改善できる。ただし、過剰に排出すると、礫が砂に埋まった状態になりやすいということです。

これが先ほどの経過です。一生懸命やったのだと。これがこの高さになって、14時間ぐらいたったからよいと言っても、仮に今、このときのスタートは石が全部露出している状態ですけれども、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ のときだけ砂を一生懸命供給してやって、砂を充填し出すと、わずか0.5日ぐらいでこのぐらいの回復が見込めると。けれども、その砂の入れ方を間違えて、2倍大量に入れ過ぎてしまったという、かなり埋まり出してしまうということがわかったので、このあたりの敏感なところで、敏感に土砂量をどこまでにしようかというのを調整することが重要だということがわかってきたということです。(図9)

$1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度時に排砂が途切れると、出水後は砂が抜け落ちた状態となりますが、 $500\text{m}^3/\text{s}$ 程度まで減少した後に排砂が途切れても、砂の抜け落ちはあまり生じないといったわけです。ですので、この $1,000\text{m}^3/\text{s}$ から $500\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいのところがちょうどいい塩梅のところで、ここをどう出し続けるか、うまく調整すれば、 $500\text{m}^3/\text{s}$ 以下はもうひどい話、バツンとちょん切ってしまうても、結果に大きく影響しないといったような見方になっています。(図10)

ですので、大きくまとめますと、先ほどの定常状態になるというのがこれでしたが、どうも基準のもの、ダムなしの場合というのは、この基準に沿ってこうやって下がってきて、このように砂が抜けてき

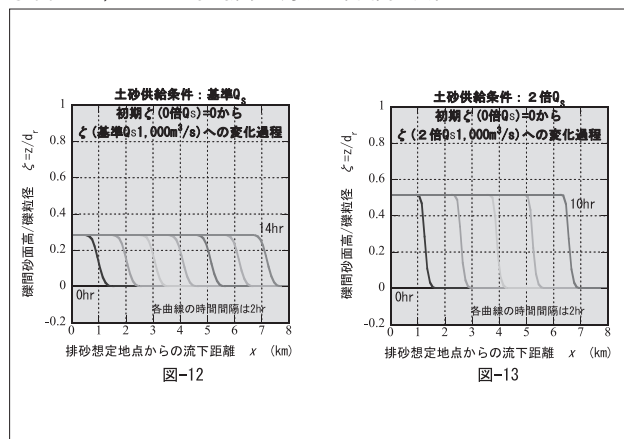
て、多分このあたりで底を打って、出水が終わったときには0.3ぐらいのところに収まっているだろうということで解釈しています。

では、ダムの排砂だということになると、洪水調整してしまうと、これでは全部土砂量がはけないので、2倍、3倍ぐらいの大きい量をはきたいのですが、下手を打って、ずっと2倍、3倍のものまでやってきてしまうと、すごく埋まった状態になってしまいます。ですので先ほどの計算、ちょうど $1,000\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいのとき、この開きが大きいところまではグッとこのように近づけていくという形があるのだろうと。

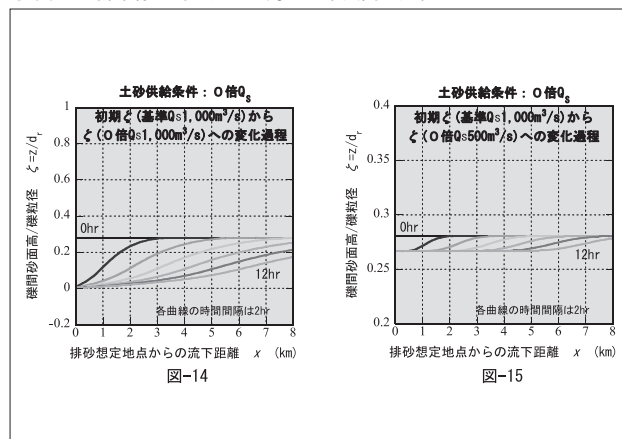
ここから先が、理想的にはこのようにうまく調節できればよいのでしょうかけれども、そこはあまり期待するなと。もうこのまま減らし切ってしまうと、 $Q-Q_s$ からは外れ切って、0にしてしまってもいいと。そうすると、 $500\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいでそうなったとしても、これぐらいの砂詰まりぐらいになりまして、まあ大差ないと。むしろ、こんなことにならなくてよかったというぐらいなので、この落とし方、どこでどこまで近づけるのかとか、これ以外だったらどうでもいいからとにかくやってしまえという形でしょうか。そうすると、どの程度の流量で土砂量を絞るかということについてかなりやるのが重要だということがわかると思います。

この形を、具体的に $Q-Q_s$ のカーブとして決めると。2倍、3倍は今、エイヤッで決めてしまったので、もう1つのテーマとしては、どこまで大きくしても

● 図9： $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 時の排砂に対する砂面高の変化



● 図10：排砂停止時の流量に対する砂面高の変化



大丈夫かということですね。多分、 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ でここまで来ると、0.8ぐらいまで埋まっています、本当によいのかと思い出しています。ひょっとすると、もう3倍以上出してもまずいのかな、などということもあるかもしれませんから、何らかの条件があるかもしれませんので、その条件を見切ることが重要になってくると思います。

そうすると、今後各ステージではどういうことになっていくかということ、実験しようと思っているのですが、まずあいつた模型実験をして、この点線、この黒い破線を決めようと思っています。これは上限値だと言っています。これがダムのないときの $Q-Q_s$ の関係で、小さいときはそこに沿ったような形で、ある流量以上になったら、その何倍以上も出せるというところまで。「災害」と書いてある赤の実線は、これを越してしまうと礫の面が全部砂になってしまうというやつです。では、それは多分下にあるのだろうな、どれだけ下にあるかわからないので、とりあえず破線。そこまではいいということにしよう。あと、この青に挟まれているところが、先ほど言った吸いつきのところです。それをやっていこうと思っています。

ステージ1では、まずは $500\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいという、先ほど言ったようなところでしょうか、そのぐらいのところであれば、先ほど言ったぐらいのことが起こって、きちんと大丈夫だということを確認するような実験をしようと思っていて、こんな排砂の仕方をして、これが増水期、減水期ですが、この辺を確かめよう。こんな $Q-Q_s$ の出し方をして、河床が本当にさっきみたいなことで大丈夫だったというのを確認していくと。多分セーフ値等がありますから、ちょっとずれてくると思いますが、増水していくと。

この辺をうまくクリアしたら、次はもう少したくさん出そう。この吸いつけ、一番小さいところをやろう。ここが、どうもこの実験でよさそうだという検証ができたなら、かなり自信が持てるので、では本格的な実機を使って運用していこうというよう

なことを考えています。

ですので、ここまでは先ほど言ったワンポイント排砂というやつで、ここが確認できるぐらいの排砂量の実験装置を使って、ちょっと怖いのですが、この実験をして確かめて、先ほどの理屈をきちんと理論にして変えてやっていこうということを考えているということです。

こういうことを現地でやりながら、最終的には、最後のまとめですが、先ほど言ったようなステージ2-1、2-2といった実験がここで、これが終わったら本格的運用をすることになりますので、 $Q-Q_s$ の形が決まってきますので、ではあの $Q-Q_s$ を実現するための土砂の出し方として、例えば置き土みたいなものでもよいのではなかろうとか、またワンポイントで使っていくなどといって試験装置的に使っているものも、ある一定の範囲で使えるのではないとか、本格運用の試験装置として、例えば吸引工法とか、土砂バイパスはだめだとか、いろいろ言われていますけれども、そういったものであの $Q-Q_s$ を実現できるものを絞り込んで、つくって、だんだん大きくしていくことをやっていくといったような受け渡しをしていこうと考えています。

ですので、ここが試練で、 $Q-Q_s$ をここで設定しないとこの装置が決まらないということになってきますので、この辺で設計条件である $Q-Q_s$ をしっかりと果たして、こちらの排砂装置を設計してもらってつくるということをしてもらわなければいけませんし、環境のほうも、これぐらいの土砂の詰まり方になるけれども、大丈夫だよ、ということでこちらに行かなくてはいけないということですので、ここをすごくジャンプするのが今まで難しかったけれども、そういったワンポイント排砂でやろうというのが今考えている形です。

これはここに書いてありますように、矢作川の総合土砂管理で今こういった委員会をつくって、非常に今されているところでありまして、その中では今、そういうことを基本的な戦略にしようではないかということで、委員会でもお話しされているところで

す。一部、前回の打ち合わせ資料までは、たぶん、矢作川総合土砂管理とグーグルで検索すればヒットすると思いますので、この図も含んである委員会資料がダウンロードできるようになっていますので、詳細に見ていただければと思います。

以上、こんなことで河道のほうを頑張ってやっているとごさいます。どうも、時間を過ぎましたけれども、ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 どうもありがとうございました。

個別の事業の質問になってしまいますが、長安口で置いた土砂というのは、ダムに溜まった土砂というふうに取りまして、そうすると置いた土砂も砂もあったり、礫もあったり、先生のおっしゃった「m」とか「s」とかも含んでいると思います。結果としてうまくいったということですが、どのぐらいの割合、置いた土砂の「s」とか「m」の割合とか、その辺がわかったら教えてもらえますか。場所によっては、ものすごく細かいものも溜まっているはずだと思うので、そういうものだとあまり河床に置いたらよくないのかなと思ったので、どのぐらいのものを置いたのかということをお教えください。

服部 ありがとうございます。今日はちゃんと粒度分布を持ってこなかったのが恐縮ですが、大部分が礫のところで取っています。すごい土砂崩壊をしてしまったので、崩壊土砂がそのままダムに入ってきてしまって、きれいにダムに堆積しているというよりは、礫が全部埋まってしまっているようなところなので、たしかその中でも上流のカーゴ等がぶつからないように、いわゆる上のほうでたくさん掘削して持ってきているので、礫主体とお考えいただければと思います。粒度分布をお示しできなくて申しわけないのですが。

質問者1 あとついでに、ボリュームとしてどのぐらいのボリュームを置かれたのですか。

服部 ボリュームはすごく多いです。例えば、この上に黒の矢印で書いてありますね、こんな量です。

4万とか、こちらの下だと9万とか、5万6,000とか、そんなオーダーです。

質問者1 それだけの量の崩壊ですと、やはり砂礫というか、いわゆる砂みたいなものも相当入っているのではないですか、崩壊土砂には。

服部 全くゼロではないと思いますが、普通の礫床河川のような礫がほとんど主体だと思います。

質問者1 わかりました。ありがとうございます。

服部 なので、あんな雑な入れ方をしているといえますか、もしも砂を結構含んでいたら、ふだんの一定数のときに水でやられたら、砂がワーストと行ってしまいます。砂はもうおかまいなしにやっていますので、かなり礫が主体だと理解しています。

質問者2 今日はどうもありがとうございました。

1ページのイントロの第2項に書かれていることについて、お考えをお伺いしたいのですが、設計条件を超える洪水時の河道応答、氾濫の状況を取説に加えるというふうなお話ですが、この場合には堤防の状況についても項目が入ってくると思うのですが、今の段階でお考えになっている内容について紹介していただければと思います。

服部 多分、堤防の状況とおっしゃっているのは、どのような計画だからとか、排砂とかいうことではなくて、水位がハイウォーターレベルを超えたときにどう扱うか、そのようなことでしょうか。堤防の状況とおっしゃっているのは。

通り一遍の答え方で言うと、現況も当然考えるでしょうし、計画で完成した状態を考えるということになっていくと思いますが、多分ご質問の趣旨を深読みすると、ではそういったときに設計条件を超えるというわけだから、当然計画は高水位を超えているだろうといったときに、氾濫のことを考えるといったときに、ではどの段階で氾濫させるのだと。余裕高というものがあるのではないかとということだと思います。

今は、特段によいアイデアはないです。ですので、すごく試行錯誤的にやっているのは、ではあらゆるシナリオで全部考えてみましょうということをやっ

ています。ひょっとしたら、ハイウォーターレベル以下だったら設計上かなり自信があって、現地でもかなりそれに近い水位を経験していて、変状履歴がないのだったら、まあ破堤しないでいけるだろうと。

しかしながら、やはり普通の設計で考えてみて、また実際に設計限界があって、何か変状しているようなところが1カ所でもあるのだったら、破堤することもあり得るなど。では、その場合はしない場合もあるだろうから、する場合としない場合をすべて考えてみましょうと。

知りたいのは、どれが本当ですかというよりは、どれが最悪で、どう守ったらよいのかということだと思うのです。ですので、どの箇所でも破堤するかということが特定できれば、それをピンポイントでやっていけたら一番よいのでしょうかけれども、どうしてもそこが堤防の状態としてわからなかったら、あらゆるシナリオを与えてみて、どれが最悪かを見て、ではこの最悪をちょっとでも楽にするためにはどういう対策がよいのかというふうに考えていくのかなと思ってまして、今はそのような道筋でやっているのかなということをおぼろげに思っているところ です。

質問者3 今日はどうもありがとうございます。

資料の土砂管理の河川としての基本スタンスというところで、ダムから排砂を点々とした場合に、河積を阻害しないということだったり、河川の生態系に悪影響を及ぼさないといったところで、ちょっと川から見たときの総合土砂管理に対するスタンスが若干消極的なのかなという印象を受けました。

河川にとってのメリットとして、昔のように土砂濃度を高くすることで何か利点というか、抽象論でもかまわないのですが、例えば攪乱頻度が上がるとか、深掘れが抑制できるのではないかなというように知見がないのかと思ひまして。

服部 ありがとうございます。消極的に感じたということだと、そうなのかもしれませんね。でも結局、今回自分なりに整理したら、やはりこのことなのかなと思っています。今の川がひょっとすると昔すこ

い土砂が出ていて、ダムをつくってしまっちょと減っていると。しかし、昔すごい土砂が出ていた時代なりに川がこのパターン1の状態になっていて、今はむしろ上流は下がってきていると。それでいろいろな問題が出てきているとするならば、ダムから排砂することがそのままメリットで、むしろ堆砂させること、昔のQ-Qsに戻すことがよいというようなことになってくるかもしれませんね。

ですので、そういった事例はそこまで細かく言うとか何か積極的に挙げられそうですが、排砂すること一本だけで、排砂イコール何かメリットがあるかを言えと言われると、多分それは難しいのだろうと。多分、今日それは僕は特効薬にならないと。排砂量を増やすということは、もう何にも増して絶対条件であって、川にとって絶対によいことが何か1つでもあるかと言われると、少なくとも今はちょっと、治水が現に頭の中にあるせいかもしれませんが、ちょっと見いだせない状態でした。ここまでパターン分類すると、この場合はあるということは何かよく見いだせたような気がしています。

ですので、お答えになっているかどうかはわかりませんが、治水をメインで河積をどう管理するかといったようなことを考えてしまうと、何かちょっともう1つ条件を整えないとなないのかなと。すごくうまくはまると、例えば先ほど言ったような河床材料の置き換えりというのがここで生じていたとしたら、ここに供給土砂をふやしてやって、もうそれ以上下がらないようにしてやるというのは、根本的な解決になるから、これは絶対いいに決まっていると。昔のQ-Qsに戻せるほういいというぐらいに思っています。ただ、それを間違えて上流端でやってしまうととんでもないことになってしまっちょと、やはりそれはここから出すほうがよいという場合も当然ありますね。

ですので、あまり雑な議論をしないほうがよいのかなと思ってまして、今のところはうまく表現がまとまらないのですが、ですのでねらった箇所にねらっただけの土砂を持っていくのにどういう設計を

うまくするのか、それがうまくできたときに、やはり昔のQ-Qsに戻すのがどれだけ価値があることなのか、その2段階にどうしてもなってしまって、後ろだけで何とかということと違って、ちょっと消極的な文章の書き方になってしまって申しわけありません。

今はそんな感じでやっていますが、よろしいでしょうか。

質問者4 ありがとうございます。

お伺いしたいことがありまして、トレンチ掘削を実施した図を見せていただいたのですが、その地質の縦断分布といいますか、それを把握する1つの目的として、先ほどおっしゃっていたように、粘土層とか砂質層が出たら掘れやすくなるとか、そういったことを把握するということはあるかと思うのですが。先ほど、こういったものを把握するためにはボーリングだとある程度細かい粒径が取れないというデメリットがあるのですが、そういった粘土層とか砂質層を把握するということができるかと思いますが、トレンチをやられる理由というか目的というか、そういったことを教えていただければと思います。

服部 わかりました、ありがとうございます。

多分、今日お見せしたのは2種類あって、こうやって新しく堆積したものがないのかというものと、そもそも川の深いところまでどんなものでできているかという、2つお見せしたと思いますが、トレンチというのはこちらで指したものです。トレンチというのは溝状に掘って、そこをきれいに地層を出してスケッチするというやり方なので、これはまさしく、狭い範囲ですが明確に出ます。

これはやはり河床材料と違いますので、河床変動計算をするときにわかりやすいのは、河床材料はそこに物があって、これが溜まるか、溜まらないかだから、粒径がはっきりわかっています。けれども、浮遊土砂が堆積するというか、もう少しちゃんとして、「s」材料を通過してしまうようなものだと、いろいろな粒径が通過しているけれども、どこが対象になるかというのは植物がどれだけ密とか、そこ

の洪水のときに、この粒径だとこの辺の高いところまで濃度高く浮遊するけれども、あまりに重いものだとこのぐらいの高さまでしか浮遊しないとかいろいろ、ではこのぐらいまでしか浮遊しないものは、ここに堆積するわけがないな、とか何とかになってきますね。そうすると、ではどれが溜まっている粒径に該当するのがわからないから、ではきちんとフタを開けてみて、どの粒径成分かを調べようというのがこちらです。

ですので、自分たちが採取する範囲がなぜこの範囲に収まっているかを調査するために明らかにしようというものです。これはどちらかというと、そういった堆積現象を明らかにするために、その対象とするものがどんな粒径かということを明らかにするためにやったということだと思っています。

もう1つのものは、もっとそういったケースバイケースの話よりも重要で、やはり端的にいうと、河床材料をどれだけ掘っても同じであると思い続けるようになればということですね。

ちょっとわかりにくいですが、このようにボーリングを堤防に沿ってやっていて、必ずしも河床とは違うかもしれませんが、大まかにそこは河床の下にどんなものが入っているかを見ると。そうすると、この辺が確か砂礫だったかな、案外砂礫の土層って、そんなに厚くないらしいのですね。沖積層がそんなに厚くないという本を読ませていただきましたが、10mとか、5mとか、礫は100mもないのだそうです。そうすると、昔は砂利採取をワーストとやっていたから、あと5m掘ろうかといったら、もうなくなってしまっているかもしれないのです。そうすると、もう血が出なくなってしまうと、そこまで河道を本当に掘り込むかという設計をするか、しないかを考えなくてはいけません。こういう横断図を見ている、そういう情報は入っていないから、骸骨を見ているだけです。どこを掘ってもいいという感じがしますが、実はここも岩盤がここまでだとか、ここは礫ですと言われたら、ちょっと見方が変わってきますね。やはり材質がきちんと入っていないと、河床

の変動などというのは材質が、この形が材質は何でできていて、どう変化していくかということが重要ですから、材質を見ないで絵を書いていたらだめだということで、こういうものでも書いて、ではどこから下まで出そうかというのを見て、ここまででやめておこうとか、このぐらいの厚さで大丈夫かといったことを判断して、設計していくという形です。

これはむしろ河床材料がわかっていて、変わってしまうところはどこかみたいなことで見ていったほうがわかりやすいかもしれません。もう少しほかの使い方もあるかもしれませんが、端的に言うとうとそんな感じで今日はお話しました。

質問者5 今日はどうもありがとうございます。

最初の話のほうでは、ここの表示に出ているように、河道の点からということで、河道の仕事をやっている、ダムとか、砂防とか、そういったところは自分では何にもできないというか、どうしようもできない形で、河道をどのような形に設計していくかということと土砂管理というか、どう土砂を流すかということぐらいしかなかなか検討できなかつたりするわけですが、今日の話では、川幅をうまく扱っていけば土砂の流し方がうまく調節できるというふうなことです、それが案外なかなか難しいのかなというふうな感じで、川幅縮小というような話で、セグメント2-2とかはある程度低水路とか高水敷が明確になっているところと、ちょっと上流で砂礫がいろいろあるようなところは、どういったところが川幅をどう扱えばよいかとか、縦断的な、川の特徴によって考え方があるのかとか、何かそういった知見がもしあれば教えていただきたいと思います。

服部 ありがとうございます。実務だと、今日はポンチ絵なのでうまく書いていますが、難しいということはそのとおりだと思います。これも非常にわかりやすく高水敷があり、わかりやすく安定河道ですから、実務はこんなにわかりやすい河道はないというのがスタートだと思います。

そこを踏み越えて、という話になってきて、一番の核心は、川幅の調整、川幅の変化というのはどん

なことをきっかけに試したかということ聞かれたのですが、やはりセグメント1というか、これでいうと多分それでいいだろうという話をいろいろな人に聞いたので、そうだろうと思っているだけですが、多分この一番上のタイプはかなり重要な、いわゆる扇状地河川、セグメント1だと言われているような河川ですが、河床材料と川岸の材料が同じですので、削れたら削れっぱなしというか、横に広げてみるというか、よほど薄くなってしまうと、河床材料の上でも砂州がとまってしまっていて、流量みたいなものがこの絵のような形で深くなったりするところと、このセグメント2とあって、先ほど言ったような川幅縮小が生じてしまうところでは、多分広げたところの応答が違うでしょうし、大出水が来たときの応答も違うでしょうから、先ほどの図のようにはうまくいかないというのが多分大きく違うところなのだろうと直感的には思っています。

多分、実務的なことで困ってしまうのは、セグメント1みたいなところは過去に砂利掘削をして、真ん中だけ掘り下げたようなところはある程度高水敷があって、まだ横に広げる余地があるかもしれないですが、はたして先ほどみたいな川幅を変化して、土砂をうまく調整できる余地があるかということころは大いにあると思います。セグメント1で、そういう川幅いっぱいみたいなところになってくると、もう定款で決まってしまうので、先ほどみたいな入れ方がうまくできないところは、その範囲で考えるしかないと思います。

もしもあるとしたら、セグメント1みたいなところを広げていくと、そういう調整ができるかもしれませんが、いざ壊れたときに、本当の大きい出水が来たときに、勢いよく河岸が侵食されたときに、やはり河岸侵食などは一発で何十mというのが、そういう急流の河川でありますので、土砂の流れを調節するほうばかり優先してしまって、本当の大出水が来たときにもう1つの高水敷の効果というのですが、堤防をすぐに洗掘に見舞われないように、遠ざけておく機能を削ってまでやるのかということころに

については、グッと1回考えるでしょうね。そこは大いにあると思います。

そこが実務上、実際の全体のトータルの管理として本当に安全です済むのかなということは、大いに疑問になるのが専門的な場合かなと思います。

セグメント2の場合は、起こっている川と起こっていない川があるので、必ずしもそうではないかもしれませんが、先ほどみたいな河岸形成ができてしまうところは、どうしようかと思っています。幾ら広げてもそちらが溜まってしまって、そちらの浚渫量が勝ってしまうと、「m」材料を浚渫するのに比べて、「s」材料が今度は勝ってしまって、河道としてよくなかったとすると、あまりいい設計ではないということになってきますので、そうすると、話はややこしいですが、もう少ししっかり研究して、ダムから「s」材料を出さないでくれ、「m」材料はいいけれども、というようなことで、本当に整理ができるのかどうかというところを真剣にやるかやらないかだと思っていますけれども、まだ道半ばでございます。

質問者6 今日はいろいろな観点からのお話、ありがとうございました。

1点、最後の排砂事業への適用を念頭に置いたモデルの開発ステップということで、2～3倍の状態から $1,000\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいでグッと抑え込んで、という新しい、まだ私自身も観点がなかった排砂事業の考え方をお示しいただいたのですが、その基点になるのが、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ レベルで基準が Q_s だとグッと下がってくるというところの図が、黒い点線の図があったの

ですが、これはちょっと私、図を見てなかなか理解できなくて、2倍、3倍のところだとダラダラと下がってきていて、基準の Q_s のところだと、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ ぐらいだとグッと下がるような形になってきていると。これはなぜこういう形になっているのかが、イメージ的に想像できなかったものですから、何かご知見等があれば教えていただきたいと思います。

服部 今のお話は、今のところ純粋にモデルによるところが多いと思います。モデルを組むときの概略のイメージ図がいろいろあります。これはきちんと検証しなければいけないところですが、0.5を下回るとモデルの効き具合がよいという話です。なぜよいかというと、面積比というのがあるのですが、表面に砂が占めている割合だと思ってください。当然この1のところだと全部砂なので、面積比は1だと。下がってくると、だんだん石の面積が増えていくので下がってきます。半分ぐらいのところが一番小さくなりますので、まず0.5以上か $1,000$ 以上かで砂が流れやすい面積が出る。なので、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ というよりは0.5のところでボコッと下りているような感じですね。プラス、遮蔽係数もかなり小さくなってくるということの2つが多分効いています。

ですので、曲線をよく見ていただくと、0.5ぐらいから傾きの度合いが違うのです。この辺がちょっと平行ですね。あまり関係ないかと思いますが、この辺、0.5ぐらいからグッとなっているの、多分その辺のモデルのパラメータ設定値がそのように効いているところが大きいのかなと思います。

(了)

平成26年度

第3回 河川研究セミナー

海岸における土砂の役割

諏訪義雄 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長）

開催日：平成26年7月25日（金）

場 所：AP秋葉原

海岸における土砂の役割

国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長

諏訪 義雄

諏訪 ご紹介いただきました諏訪です。よろしくお願いたします。

それでは早速話のほうに行きたいと思います。題名はこういう題にさせていただきました。「海岸における土砂の役割」ということであります。私の立場からは、これは総合土砂関係のことをやっていくシリーズだと聞いておりますので、海岸には土砂が欲しいという話をさせていただきたいと思います。

今日私のほうで、話題提供させていただきたいと思っている内容は、こちらの5点でございます。1つは海岸にできる地形というのは、自然のインフラであるということをまずしゃべらせてもらいたいと思います。(スライド1)

2番目に海岸の断面の形状と粒径の幾つかの海岸の実態を紹介させていただくとともに、波によってどんなふうに動いているんだという、これも神奈川県さんが調査された事例があるので、それをご紹介させていただきたいと思っています。

3つ目は海岸侵食対策がどんなふうに進んできたかという話を短くさせてもらいたいと思います。

4つ目が各海岸事業者さんがいろいろ工夫して取り組んでおられる中で、参考になりそうなものを紹

介させてもらおうと思っています。

最後に総合土砂に対して海岸から見た場合の期待というものを個人的な考えを相当混ぜてしゃべらせてもらいたいと思っています。

最初に、海岸の地形が自然インフラだという話をしたいと思います。まず東日本大震災を初めフィリピンで高潮がありましたけれども、海岸では時々壊滅的なことを起こす災害が起きます。津波、高潮、高波、侵食で崩れるとか、こんなことが起きます。(スライド2)

● スライド1

本日の内容

1. 自然インフラである海岸地形
2. 海浜形状と粒径、波浪による土砂の動き
3. 海岸侵食対策の変遷
4. 先進的取組
5. 海岸自然インフラの保全・再生から見た土砂管理等への期待

● スライド2

1. 自然インフラである海岸地形 海岸における災害



これは日本の沿岸でどんな海岸の災害があるんだということを地図にしたものがあつたので持ってきました。三大湾とか瀬戸内海、有明、八代そんなところで日本は起きやすいということがあります。こっちは侵食は日本の沿岸のあちこちで起きているという話です。津波も太平洋沿岸各地、あるいは日本海の東縁部のこっちで起きやすいということが書かれています。このように海岸災害を受けやすいというのが日本の国土だということでございます。(スライド3)

沿岸全部が同じというわけではなくて、沿岸ごとの特徴があるということをまずしゃべらせてもらいたいと思います。いろんな災害を引き起こす外力、高波、高潮、津波、こんなものの観点と沿岸の場として内湾、外洋、遠浅の場所と急深というので分けました。こんなにきれいに分かれるわけではなくて、境界があいまいなところがあります。前提として普段の潮位の変動、それに伴う流れとかもありますけれども、そこに台風が来ると高潮、高波が起きるとなりますし、津波が来ればこれに上乗せしていろんなことが起きるといことです。(スライド4)

内湾だと普段から、形によりますけれども、共振で大きくなれば非常に潮位変動が大きい。そういうことが大きければ潮流の出入りが激しいということがあります。波のほうは逆に内湾なのであまり発達しませんけれども、高潮のほうで、特に吹き寄せによる上昇というのが浅い海域が広いと起きやすいと

いうことになります。

津波もこれに似ているんですけども、形が共振したりすると大きいのが起きます。島原大変とかありましたけれども、山体崩壊が起ければ対岸がやられるということも過去にあったということです。

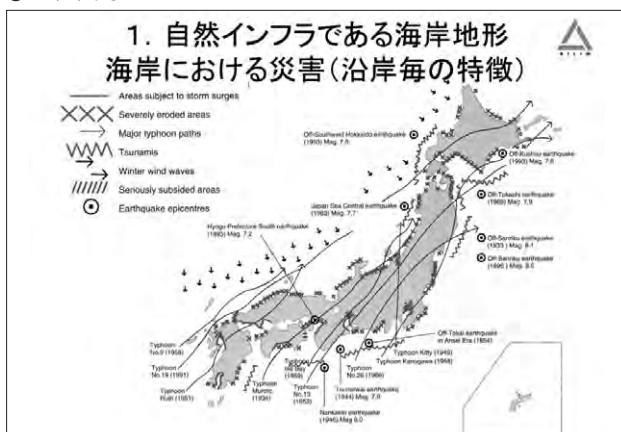
それに対して外洋のほうは、高潮というか潮位が上がるよりもむしろ大きい波が来る、こちらのほうが支配的だというふうに思っています。特に急深の海岸だと波が砕けずに来ますので、もう波でやられるということが多い。津波のほうも津波の波源が近ければそういうところでものが起きるといことになります。ただ遠浅だと津波も砕けて、氾濫する量は減るかもしれないけれども、破壊力の大きいような波が来たりすることがあると思います。

順番に見ていきますと、日本で高波災害は最近も起きています。例えば西湘バイパスが崩れたような、2007年9月台風9号の災害。あるいは寄り回り波で高潮災害があつたものとかが起きています。これはグーグルアースがとつたのは、海底の地形が急深の海岸だということを言いたくてとりましたが、ちょっとわかりにくいかもしれません。(スライド5)

もうちょっとさかのぼると2004年8月に台風23号で、海岸のパラペットが折れるということがあって越波で人が亡くなるということもありました。

最近では日本は津波ばかりなんですけれども、2012年ハリケーンのサンディにより、ニューヨークで浸水被害であつたことがしきりに言われました。ニュー

● スライド3



● スライド4

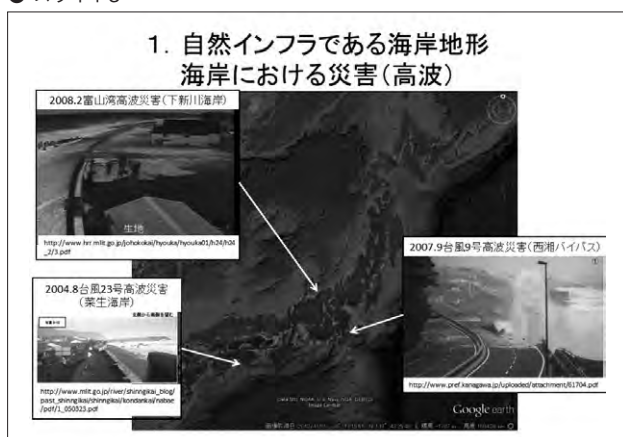
1. 自然インフラである海岸地形 海岸における災害(沿岸毎の特徴)				
外力	場	内湾	外洋(遠浅)	外洋(急深)
潮位変動(天文潮)		共振で大	日本海<太平洋	
潮流		潮位変動大の場合は大	(小)	小
高波(波浪)	風波	発達に限界	砕波で減衰	
	うねり	入口狭・浅いと減衰	減衰せず到達	
高潮(潮位増高)	ウェーブセットアップ	小	大	小
	吸上げ	気圧低下に応じて大 南>北		
	吹き寄せ	浅海域広いと大		
津波		共振	太平洋沿岸(南海トラフ、日本海側、千島海溝)、日本海東縁部沿岸	
		山体崩壊	ソリトン分裂、段波、到達早	

ヨークは内湾の高潮災害ですがけれども、ニューヨークの下にニュージャージー州があって、そこはむしろ波による被害が大きかったと思ってまして、そのご紹介をしたいと思います。(スライド6)

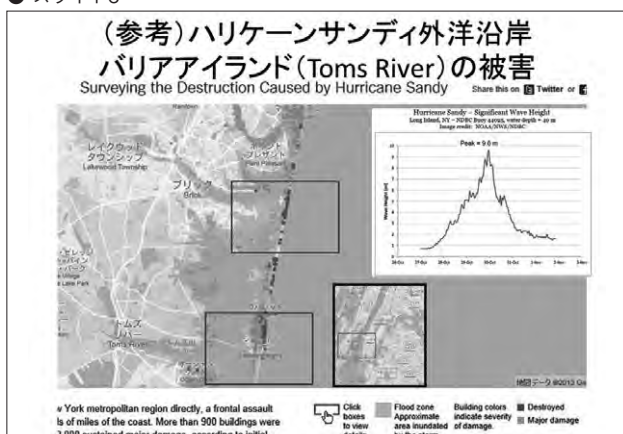
浸水範囲と建物の全壊、半壊をプロットした建物被害を表した図です。ここの沿岸は後でもまた紹介しますがけれども、バリアアイランドといってラグーンを後ろに抱えた、日本でいったら野付崎みたいに、ああいうのがまっすぐ伸びたような地形が発達しています。建物の大きい被害というのがバリアアイランドの上でほとんど起こっているということが、この地図で一目瞭然かと思えます。しかも全壊で激しくやられているというのは、もう海に面したところということです。このときの波も9mぐらい。相当大的な波が来ているということです。

もう少し寄ってみたやつがこれですがけれども、実際やられているのは、写真が小さくてわかりにくい

● スライド5



● スライド6



かもしれません。建物がもう壊されているということをお願いです。津波で壊れたというのは、東日本大震災でよくご覧になっていると思いますけれども、高波であってもやられ方はほとんど津波と変わらないという印象です。ただ、その範囲がぐっと海岸寄りのところで起きているということが特徴なのかなと思います。(スライド7)

これはトムズリバーというところを見にいかせてもらったんですがけれども、このバリアアイランドの中より拡大したものです。実際やられたところを色塗りしてある写真を撮らせてもらいましたがけれども、波が入ってくるところでやられているというのがわかると思います。

ちなみにここでは日本のような海岸堤防はなく、向こうでやっているのは、デューンと呼んでいましたけれども、実際は人工で盛りつけた盛り土で守っているんだそうです。

これは復旧した後のものです。

次は高潮です。これは写真でみんなセピア色になっていますけれども、日本は高潮被害というのは、伊勢湾台風以降大きなものは受けてないので、どうしてもこうなってしまいます。起きやすいのは三大湾、先ほど言いましたけれども、有明、瀬戸内海、九州だとこんなところがやられやすい。大阪湾だったら1934年、室戸台風以降、大きなのはこういうことになりますし、東京湾でも17年以降大きなのは来っていない。伊勢湾台風も1959年でしばらく遭ってい

● スライド7



ないということです。(スライド8)

同じように高潮、潮位が上がったことによる被害の例ですけれども、同じハリケーンサンディで、今度はニューヨークの奥まったマンハッタンで起きた被害の概略の紹介です。向こうは、堤防とかで守ることはしていなくてもう堀込河道みたいになっている地形です。青色が先ほどと一緒に浸水範囲ですけれども、色分けはさっきの全壊、半壊とは違って、これは浸水した深さです。色が濃くなるほど深くなるということです。たくさんの建物が浸水したということです。それから変電所が壊れて、南部では5日間にわたって停電したとか、そんなことが起きています。(スライド9)

次のスライドでも言いますけれども、地下鉄の駅が浸水とかいろんな被害が起きました。

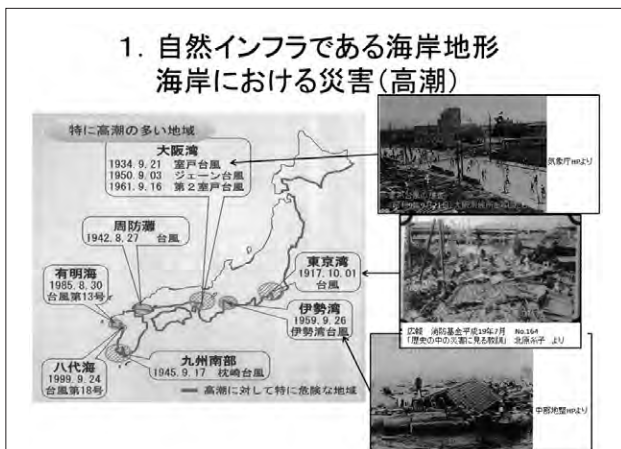
左側が鉄道です。マンハッタンに向かってニュー

ジャージー州からも鉄道が入っているし、ニューヨーク州のほうからも鉄道が何本もトンネルで入っているんですけれども、それらで左側から来るのは2本浸水しているし、右側から入ってくるのはもう8本もトンネルが浸水しているということでした。駅も4つ浸水しています。たくさんの人に被害をもたらしたということです。道路トンネルもカルバートとなっているものは幾つか浸水しているということがありました。(スライド10)

次は津波です。津波はもう皆さんご存じだと思うので、先ほどの図と同じような話になりますけれども、波源がこういうところに大きなものが来そうなのは、南海トラフとか海溝沿いとかにあります。あと日本海東縁部断層沿いとかが危ないですねということを紹介した図です。(スライド11)

それから侵食です。この図は沿岸で海岸線がどの

● スライド8



● スライド10



● スライド9



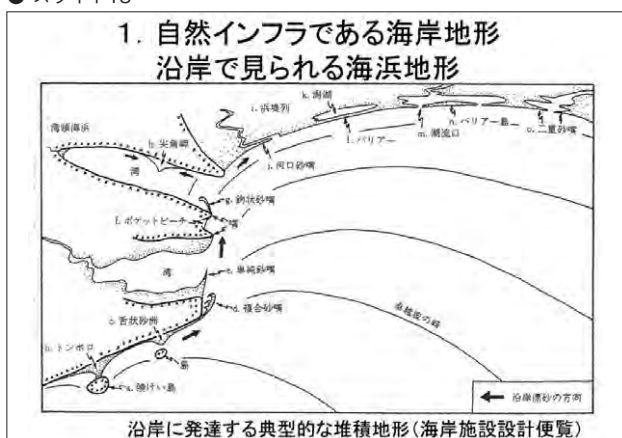
● スライド11



● スライド12



● スライド13



くらの速度で後退しているかというのを色分けしている図です。赤が非常に海岸侵食が激しいと。次にオレンジ、緑は平衡状態もしくは漸進とかそういう色分けをしています。日本の沿岸は、海岸侵食が激しいことがおわかりいただけたと思います。(スライド12)

なんで自然インフラなんだという話をしていくんですが、これが海岸施設設計便覧というものからとらせてもらった、沿岸に発達する堆積地形というのを模式図にしたものです。こういう土砂がたくさん出てきて、波で運ばれたりしているようなところには、トンボロ、砂嘴、砂嘴がつながるとバリアというのができたり、先ほどバリアアイランドと言いましたけれども、そういうものができて後ろにラグーンとか特徴的な地形ができるという話です。(スライド13)

自然インフラはどこから借りてきた言葉だというので次を紹介します。これはハリケーンサンディの

● スライド14

1. 自然インフラ(Natural Infrastructure)
(NYS2100より引用)

○沿岸州・砂丘システム(Barrier beach and dune systems):

- ・バリアアイランド(砂浜と砂丘の複合体)は第一の防御線
- ・波のエネルギーをやわらげ高潮・高波のインパクトを減らす
- ・高潮・高波は砂浜から海域へ、砂丘からその背後に砂を動かす
- ・これは潮位上昇と高波に対する自然の応答で、安い費用で修繕可能

○干潟(Tidal wetlands):

- ・流速を遅くし、漂砂の堆積を促して海岸線を安定化
- ・波高と波のエネルギーを減らす

○カキ礁(Oyster reefs):

- ・波の作用を減らし、湿地・河口の海岸線に粗粒の底質を供給
- ・海岸線の安定化に貢献

○近自然海岸(仮訳)(Living Shorelines):

- ・塩分に強い植生・捨石、その他波浪エネルギーを吸収し侵食を軽減・防止する工法で設計された海岸

○自然の浜堤と土堤(Natural Berms and Levees):

- ・大きな土製の壁あるいは浜堤は、適切にデザインされていれば脆弱な地域に浸水をもたらす水を遠ざけることができる

調査に行く前に、向こうではAfter Action Reviewというのを向こうはつくっているんですけども、ニューヨーク州がつくっている After Action Reviewというのが、NYS2100という本です。その中で「Natural Infrastructure」という言葉が紹介されていました。どんなものなのかなと思ってみたときに、5つほど主要なものがあると紹介されていました。これはニューヨークを守るためにこんな5つがあるんじゃないかという紹介です。それを私が間違っている部分もあるかもしれないけれども、急ぎで翻訳してみたものです。(スライド14)

5つのうち1つはまず先ほどのバリアアイランドです。この沿岸州、barrier beach and dune systemと書いてありました。これがリスクみたいなものを色分けした図なんですけれども、これを見てもらって一目瞭然のように外洋に面している沿岸部。ここはリスクが高いということを言っているわけです。こういうバリアがあることによって後ろが守られているということです。ということが書いてあるかという、砂浜と砂丘の複合体であるバリアアイランドというのは、第一の防御線なんだと。そこでは波のエネルギーを和らげて高潮、高波のインパクトを減らしていると書いてありました。高潮、高波というのは砂浜から海域に、それから砂丘から後ろにそれぞれ砂を動かしているんだと。こういうのは潮位上昇、高波に対する自然の応答なのであって、これは安い費用で修繕可能と。安い費用とはどういう

意味かという、後ろで建物とか資産を復旧するよりは安い費用で修繕可能なんだと、そういうことが書いてあります。

そのほかには干潟とかカキ礁とかイカダなんですかね。カキ礁というのも挙げてあります。

これはどう訳していいのかわからなかったんですが、Living Shorelinesと書いてあります。中身を見ると塩分に強い植生とか捨て石、そのほか波浪のエネルギーを吸収して侵食を軽減・防止するような工法でうまくデザインされたshoreだと書いてありました。だから人工的に自然にならってつくったということを言いたいのかなと思ってこういう仮訳にしましたけれども、こういうものも挙げてありました。

もう一つが自然の浜堤と人工も含めた土堤です。Natural Berms and Leveesと書いてありました。これは大きな土製の壁、あるいは浜堤というのは適切にデザインされていれば後ろの脆弱な地域に浸水をもたらす水を遠ざけることができるんだということが書いてありました。

先ほどの海岸独特の地形というものでいうと、こういうものがまさに当てはまるんだなと思っていて、いい言葉だなと思って借りてきているということです。

もう少し断面図みたいなもので書いてみますと、これは砂浜、浜堤、砂丘の概念図ですけれども、海から陸に向かって浜があって、浜堤があってそれから場所によっては砂丘ができるということです。砂浜というのは、高い波が来ると浜を削って沖に持って行って、バーを作ると言われています。それがまた静穏になるとこいつが戻ってきて、また浜が太る。こんなことを繰り返していると言われています。また栈橋とかで観測していても、こういう動きが実際に確認もされています。(スライド15)

海の中ではこういう動きがあるし、陸のほうに上がってくるとバームとか呼んでいる高まりができてたりします。場所によってはもっと高さが10m以上になるような砂丘もできてたりします。いろんな言葉があるんですけども、砂丘というのは風によって運

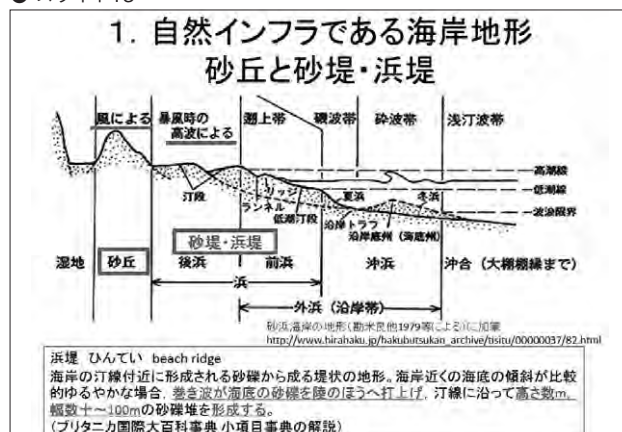
ばれてうんと高くできたものだと、こういうふうに関なりに分類しました。それ以外の浜堤、砂堤、沿岸砂州ですか。いろんな言葉があるんですけども、波によってできる地形のほうを浜堤、砂堤というふうに分けさせてもらいました。こういうものが海岸独特の地形であって、しかもこういう高まりなのでこれがある種のインフラをなしているということを言いたいわけです。

ちなみに浜堤をネットでちょろちょろと調べると、汀線付近に形成される砂礫からなる堤状の地形だと書いてありました。砂堤と浜堤、後からまた出てくるんですけども、砂堤と浜堤、恐らく砂礫ができているものを浜堤と書いていて、砂堤は砂だけでできているものをいっているのではないかなと思っています。

あと汀線に沿って波が巻き上げて陸のほうに打ち上げてつくっている地形だと。汀線に沿って高さ数m幅数十から100mの砂礫堆を結成すると書いてあります。

実際幾つか現場に行ったときに撮った写真で、これがそうかなと思うものを挙げてみました。こちらは宮崎海岸でこの間の台風の後に行ったんですけども、新しく波でつくった地形が見られました。これは見やすいように同じになるように写真を反転しているんですけども、震災の被災地の海岸です。ここでも1回浜がなくなりましたけれども、砂が戻ってきて割ときれいな浜堤、私は浜堤だと思いますけれども、こういうものをつくってしまして浜が

● スライド15



復活していました。こういうものを砂堤というのかなと思います。(スライド16)

礫が混じっているところだともっときれいなものがあるとよかったんですけども、こういう3種類ぐらいの写真を集めてきました。礫と砂とで地形、浜ができているということです。ここは砂浜のところに、養浜しているところにできた地形ですけども、ちょっと礫で高まりが見えています。もう少し別の海岸だともっと大きいカスプ、沿岸方向に波打っているのをカスプというんですけども、そういうビーチカスプがもっと大きくできているというような海岸もあります。こういうのが浜堤というのかなと思っています。(スライド17)

福本さんという人が、日本沿岸にはたくさんの浜堤等があるということをまとめてくれています。これを引用したものですけれども、黒くバンドで書いてあるものが長さ20km以上の海岸地形だと書いてあります。

中身は砂丘・砂堤・浜堤というものです。記号がS、Pというのが高まりの前面にある浜の種類を言っているようです。D、R、Bというのが後ろの高まりの地形です。砂丘・砂堤・浜堤とかと書いてあります。ここで分けていっています。現地の感じで見ると、礫浜があるようなところの後ろがどうも浜堤と呼んでいるようだなと思ひまして、先ほどのような解釈を申し上げたところです。(スライド18)

これは波が作る地形です。冒頭申し上げましたけれども、波というのは外洋のほうが発達したものが来ますので、やはり外洋の沿岸でこういう地形が発達しているというのがおわかりになると思います。

今、国土地理院のほうで電子国土ウェブというのがあって、そこに分解能の高い地形データを入れられるからだと思うんですけども、砂丘とか浜堤という地形がわかります。その代表的なものを紹介したいと思ってつくりました。グーグルアースと同じ

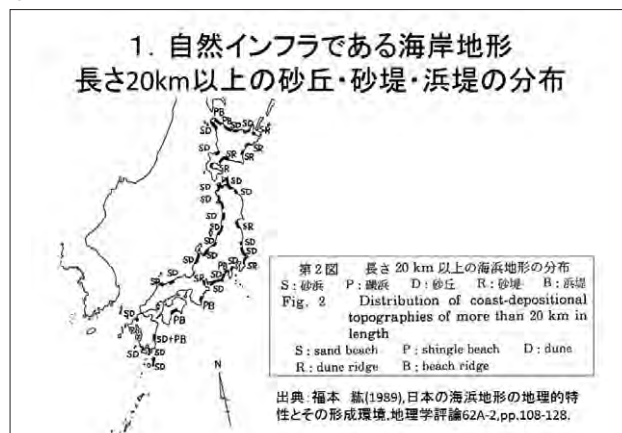
● スライド16



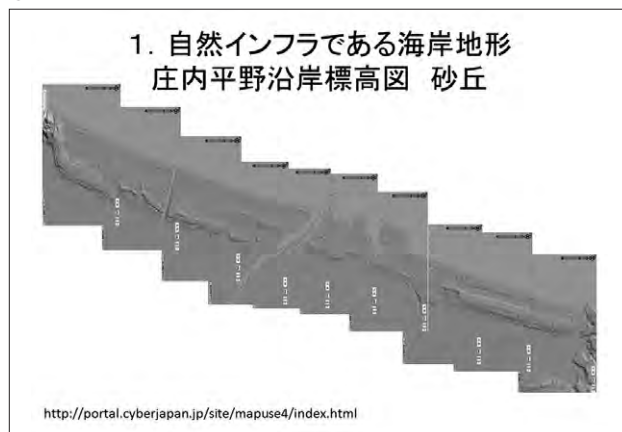
● スライド17



● スライド18



● スライド19



で、引くと分解能が悪くなって見にくいので、これくらいのスケールまで拡大しないと見えないんですけれども、それをずっとつなげてみたものです。これは庄内平野の砂丘、すごく立派な砂丘があるので、これを引用してみました。海のほうからこっちに向かって高い砂丘があるというのがわかりいただけるとと思います。(スライド19)

これが今度、地形の論文からとったものですが、幅が1kmのスケールなので1km以上の幅の浜プラス砂丘の地形ができています。それがさっきの電子国土ウェブでも見えたという話です。(スライド20)

断面図もそこに紹介されています。海側のほうには明治期にできた砂丘があり、その間に砂丘列間の低地というのがあって、後ろのほうにまた大きな砂丘ができています。どうも後ろに発達したみたいでして、高さが60m以上あるすごい立派な砂丘ができる

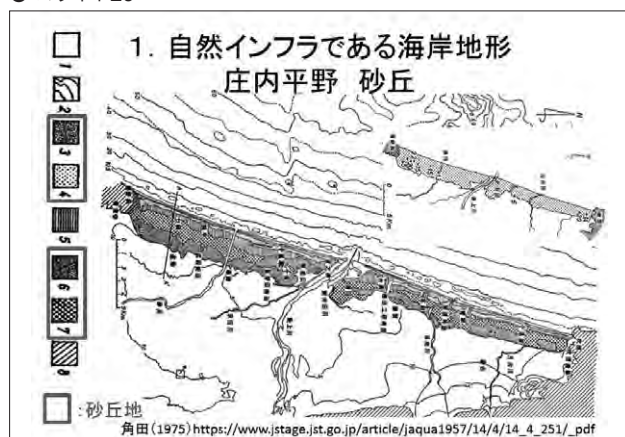
ということです。日本海側は季節風があるからでしょうか。これだけ立派なものがあるとやはりすごいインフラだなと思うということです。(スライド21)

次に新潟平野です。新潟平野にも砂丘があるんですけれども、これはつなぎ合わせなくてもうっすらと見えるのがわかるかと思います。(スライド22)

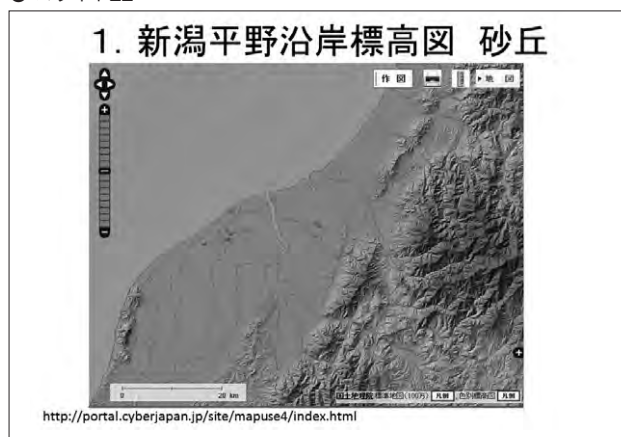
地理院の中でも北陸地方測量部さんがもっとわかりやすい地図をつくってくれています。これは色分けがすごくわかりやすいと思ひまして、同じような範囲をとりました。海岸線が標高10m前後になっていて、後ろの低地を守っているというのがよくわかるかなと思います。残念ながら北陸地方測量部さんがつくっているところしかこういう色分けがないので、全国こういうのがあると便利だなと思います。これはすごくわかりやすいなと思います。(スライド23)

同じように地形学の論文みたいなものから参考になるような図を拾ってきました。砂丘列がいっぱい

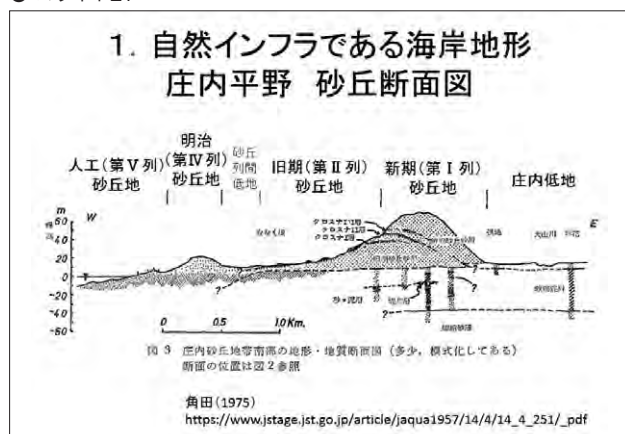
● スライド20



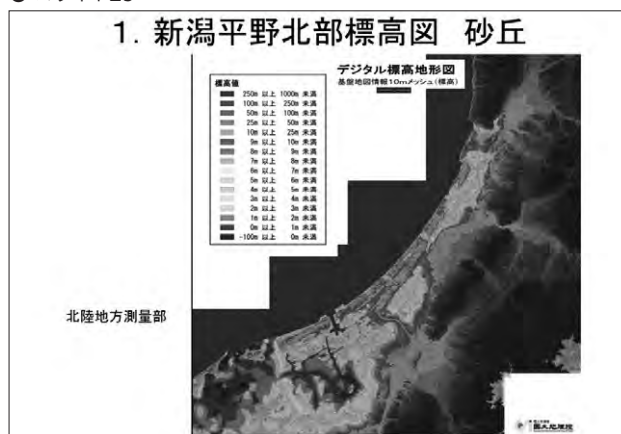
● スライド22



● スライド21



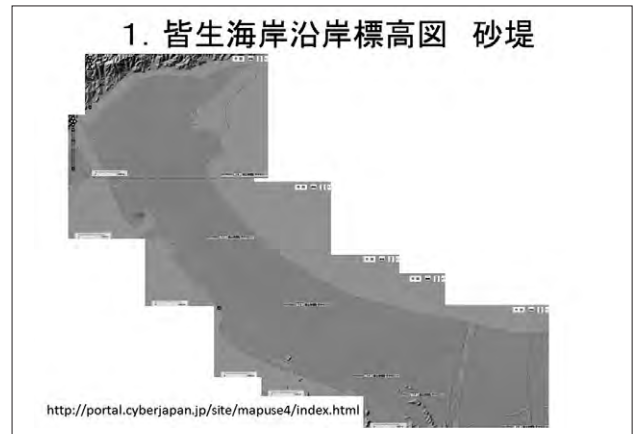
● スライド23



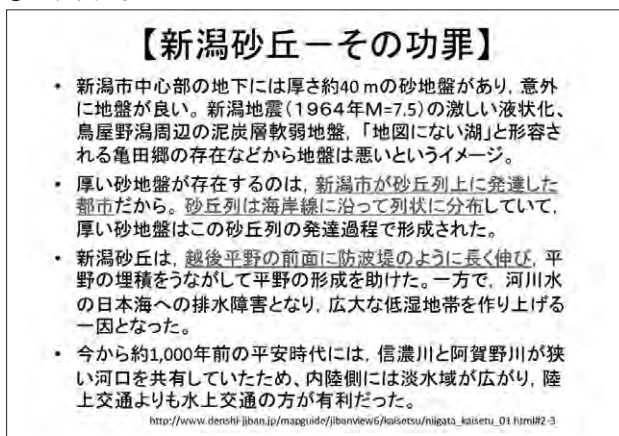
● スライド24



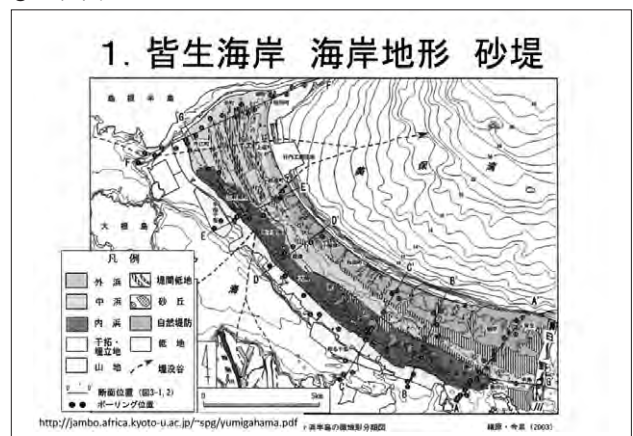
● スライド26



● スライド25



● スライド27



できていて幅広く発達しているということです。それが発達する過程を推定した図も載っています。こういうふうに守られているということです。

守っているということがわかるような、サイトから引用してきました。新潟市中心部というのは、砂丘列の上に発達している層なので、非常に実は地盤がいいんだそうです。印象としては新潟地震のときの液状化の被害とか、後ろに鳥屋野潟という軟弱地盤があったりするので、また亀田郷というのはすごく水につかる場所ですから、地盤が悪いなというイメージがあるけれども、そんなことはないよと。砂丘地形のところはすごくいいということがひとつ書いてありました。

それは何でかということ、砂丘列状に発達した都市だということです。さっきの図にもありましたけれども、列状に分布していて、すごく厚い地盤がその基盤になっているということです。（スライド24）

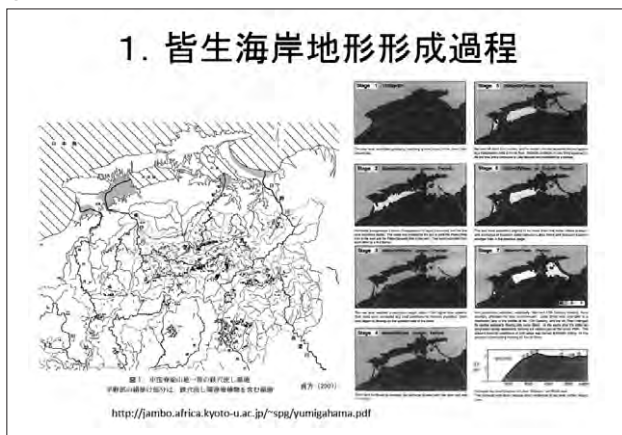
越後平野の前面に防波堤のように長く伸びて、これは平野が発達するのを助けたという面もある。一方で河川水の排水する障害になって広大な湿地帯をつくり上げている。1000年前は、信濃川と阿賀野川が狭い河口を共有していたので、淡水域が広がっていたそうです。昔は水上交通のほうが便利だったということが書いてありました。（スライド25）

今の話は砂丘の話でしたけれども、今度は浜堤、砂堤の例とかと思います。皆生海岸でも同じように電子国土ウェブからつくってきました。こちらは先ほどより高い地形はないんです。低いものが幅広く前に出ていったという地形になっています。（スライド26）

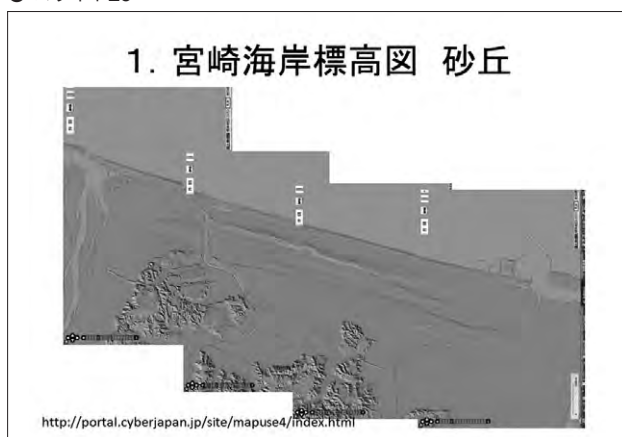
これが同じように地形的な分類をした図です。浜というふうに書いてあるので、砂丘ではなくて浜堤なんですね。（スライド27）

ここは、今度自然にできたというよりは、流域で鉄穴流しというのがやられて、たくさん砂が出てき

● スライド28



● スライド29

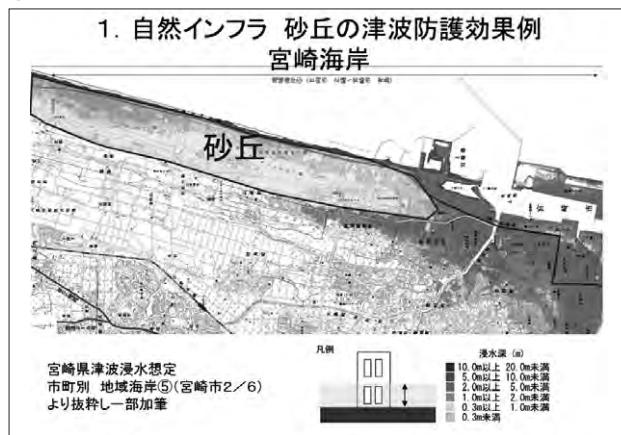


て発達したという特徴があるんだろうと思います。そこがちょっと先ほどとは違うと思って引用しました。(スライド28)

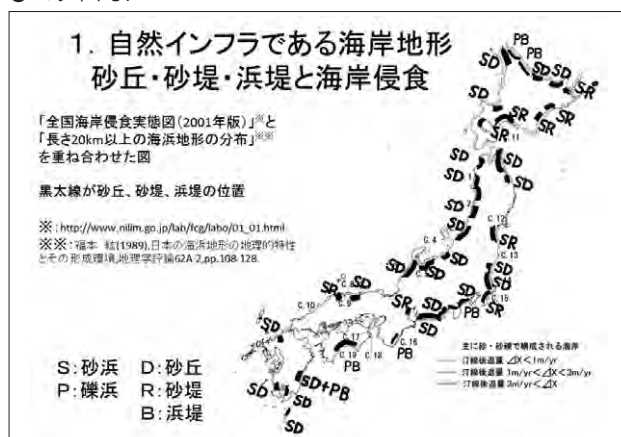
もう一個は宮崎海岸です。ここも砂丘が割と発達しています。この前面は侵食で困っているんですけども、この砂丘のおかげで後ろが守られているというのが、次の津波浸水想定図でわかりやすいかなと思って、紹介したいと思って持ってきました。ここが先ほどあった砂丘の地形、前面では真っ赤になるほど津波高は高いんですけども、この後ろは守られているというのがわかりやすいと思って持ってきました。こういうのを自然インフラと呼んでいいんじゃないかということで、海岸地形は大事だということを言いたいということです。(スライド29、30)

改めて、先ほどもちょっと言いましたけれども、これは砂丘とか浜堤の分布にさらに侵食の図を紹介しましたけれども、それを重ねて書いたものです。

● スライド30



● スライド31

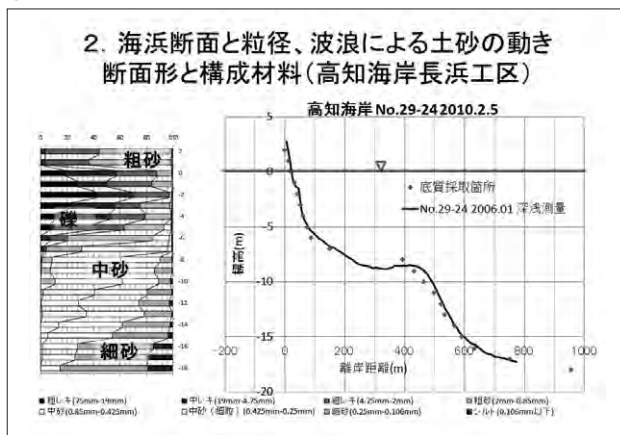


このように貴重な自然インフラの地形の前面は汀線の後退量が多いというのがわかると思います。海岸が侵食によりおびやかされているということがわかります。(スライド31)

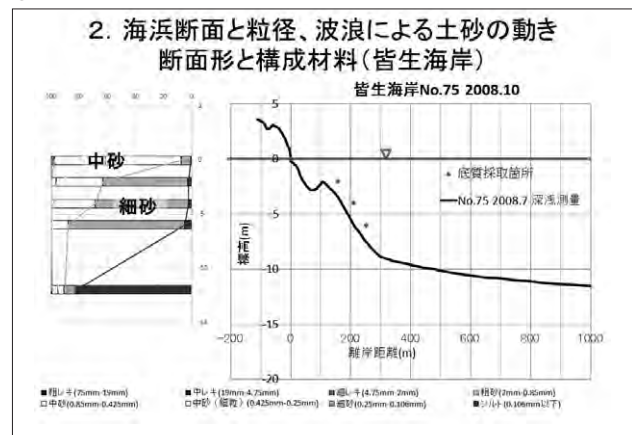
2番目は、砂の動きです。海岸はどういう材料でできていて、それがどういうふう動いているかという話を次にしたいと思います。これは高知海岸長浜工区というところ、右側は海岸の断面形状です。左側は同じ深さを合わせた材料の内訳です。表層をとってふるい分け試験をしたものです。その内訳を砂の粒径の種類別に分けたものです。地形を見てもらってわかるように、ここが水面です。ここに波が乗かってきてこうなっているんですけども、浅いところに急な地形があって、その後緩い地形があって、ここはバーができていて、また割と急な地形で深くなっています。(スライド32)

それぞれ深さのところに、特徴としてはこういう

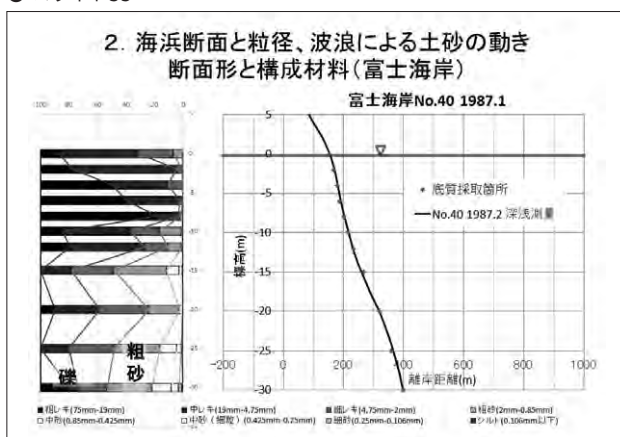
● スライド32



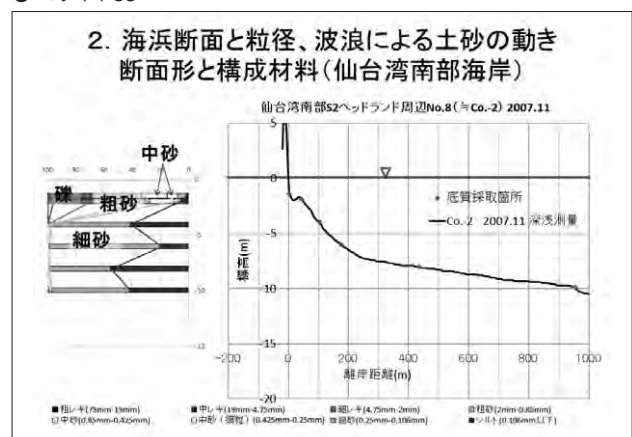
● スライド34



● スライド33



● スライド35



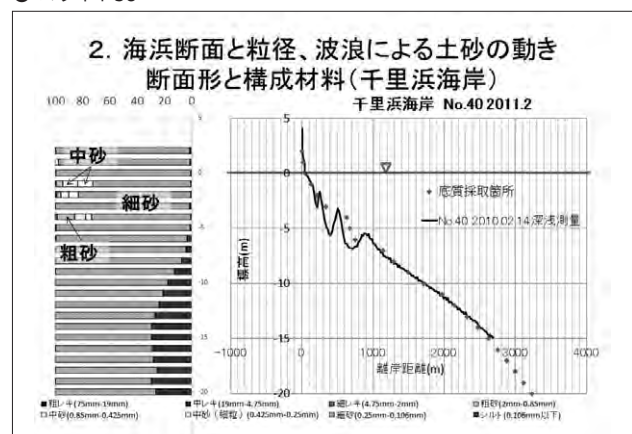
浅く急なところというのは、礫とかで主に形成されているということがわかんと思います。緩斜面のところは、砂で形成されていることがわかります。さらにパーのところへ行くと、細砂がだんだん増えていくという、こういうふうにきれいに見えます。

あとほかの海岸も同じようにつくってみました。急深海岸で有名な富士海岸です。ここだと海底に向かって急なところなので、あまり砂はなくて礫ばかりです。(スライド33)

こちらは皆生海岸です。ここは深さごとに細くはとっていないので粗いものしかわかりませんけれども、波が一番洗うところには中砂があって、パーのところは細砂が主体だということがわかります。(スライド34)

今度は仙台湾南部海岸です。これは津波の前の調査です。ここはもう浜がなくなったような場所にヘッドランドをつくった場所です。ここもやはり深

● スライド36



いところは細砂しかなくて、浅くなったところは、粗砂、礫というふうになっているところ。(スライド35)

次はもっと緩い石川県の千里浜海岸です。ここはなぎさドライブウェイというのがあるように、日本の外洋の中でもすごく緩い海岸。最も緩い海岸ではないかと思ひます。これはぎゅっと縮めているので

先ほどと変わらないように見えるかもしれませんが、横軸がうんと長いのでずっと勾配は緩いです。底は遠浅海岸です。底は細砂主体でできているということがわかります。浅いところに、たまに中砂があらわれるというふうになっています。バーが3段あるような地形です。(スライド36)

こういうふうに海岸は、水中も含めればいろんな粒径の土砂でできているということをひとつ知ってもらいたいというのと、あと深さ方向に分布しているということをちょっと覚えておいてください。

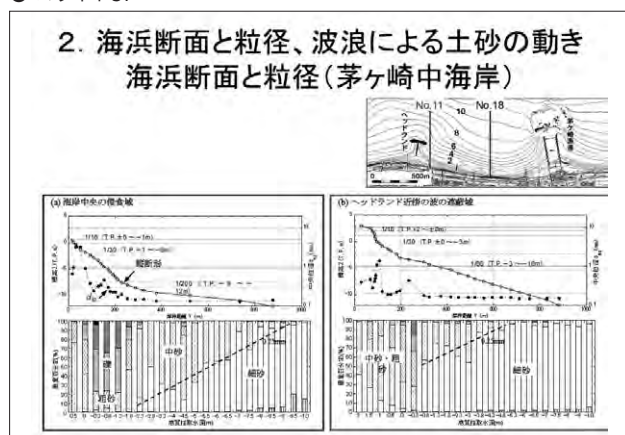
次に神奈川県が、茅ヶ崎中海岸というところで3種類ぐらいの粒径の土砂の動きを実際に現場で調べられているので、その紹介をしたいと思います。まずここの特徴です。さっきと同じような整理ができていないんですけれども、平面的にこちら方向に割合を変えて書いた図です。内容は一緒です。形が急なところには粗いものが多くて、緩いところには砂

分、中砂、細砂があるという地形になっています。こういう場所に色をつけた礫とか砂をまいて動きを調査されています。(スライド37)

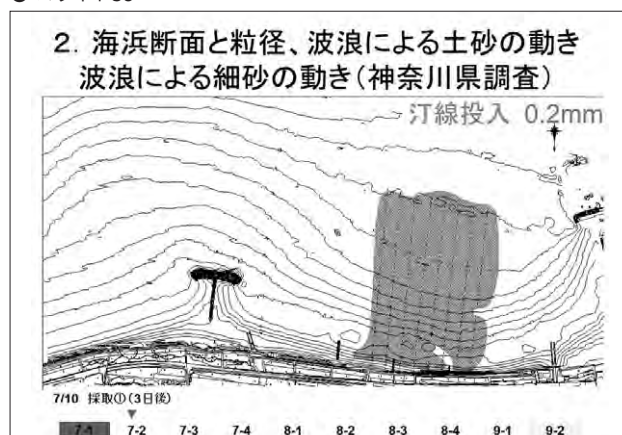
先ほどのヘッドランドと漁港に囲まれた、ここで調査がされています。調べた粒径が細砂に当たる0.2mmという材料。小礫というふうに分類できる2mmの材料。それからもっと大きい10mmという材料、この3種類の粒径に色をつけて現場に置いて動きを追ったということです。置く場所も2カ所違う場所に置いている。1つは汀線沿いに置いている。もう一つは水深4mという水中に置いて、その動きを追ったということです。(スライド38)

最初に汀線に置いた細砂がどう動いたかという話です。汀線に置いた日が7月1日ですけれども、3日後にとりに行ったらもうわっと広がっているのがわかるということです。さらに2カ月後に行ってみたら、水深の範囲は先ほどと一緒にすけれども、もっ

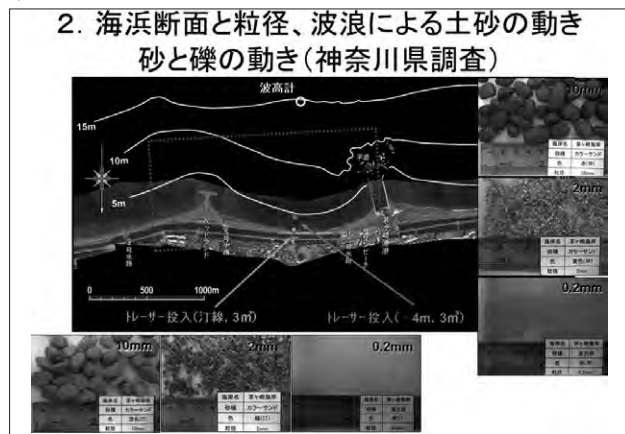
● スライド37



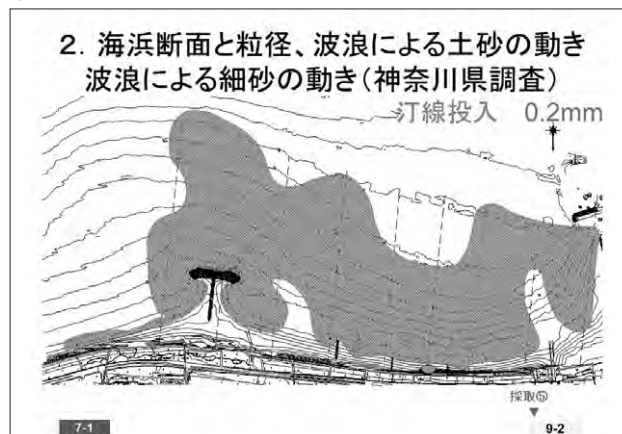
● スライド39



● スライド38



● スライド40



と沿岸方向に広く広がった。こういう動きがわかりました。(スライド39、40)

次に2mmの材料はどう動いたかということです。今度1日後に行ってみたら、深いほうには動いてなくて、汀線沿いに左側に動いていたということが確認できた。さらに2カ月後に行ってみたら、まいた場所から両側に汀線沿いというのは一緒に、両側に動いたということでした。(スライド41、42)

10mmの移動はどうだったか。これは2mmと同じように、1日後には左側に動いた。深い沖のほうには見られなかったということです。2カ月後に行ってみたらもうわずかしは見つからなかった。ほかの材料に埋まったんじゃないかと思えますけれども、見つからなかったということです。(スライド43、44)

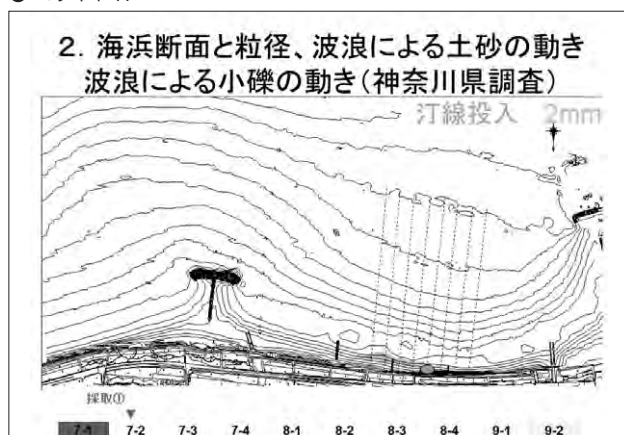
今度水深4mの水中に置いた場合どうだったかという話です。0.2mmの細砂はどう動いたか。ここに置いたんだけど、やはり浅いほうに動いてくる

し沖のほうにも動いているという状況が見られました。これは1日もたっていない。すぐにという意味だということです。2カ月後に行ってみたら、このようにまいた場所から浅いほうにも沖合のほうにもそれぞれあった。広い範囲を動いていた。汀線に置いたのと同じような範囲で動いているということです。こういうのがわかりました。(スライド45、46)

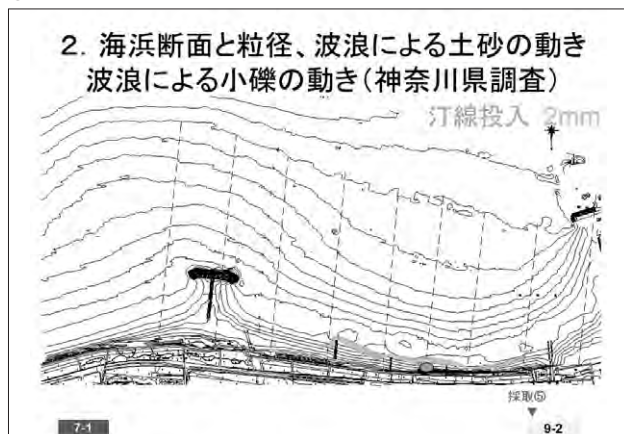
次に、2mmの小礫はここに置きました。置いた場所でも見つかったけれども、動いたものはほとんど汀線沿いに移動していたということが見つかりました。移動した方向は、汀線のとき置いた方向と同じ方向です。こちらのほうに来て見つかったということです。2カ月後に行ってみたら、今度は反対側のほうで見つかったということです。あるのは置いた場所から浅いほうに向かって見つかったということです。(スライド47、48)

10mmは見つけるのが大変なんですかね。ぼろぼ

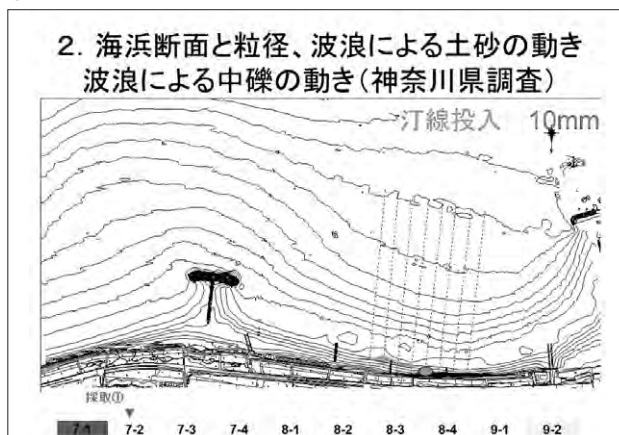
● スライド41



● スライド42



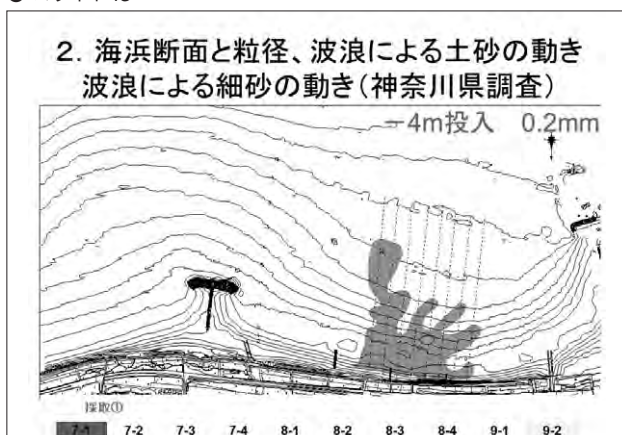
● スライド43



● スライド44



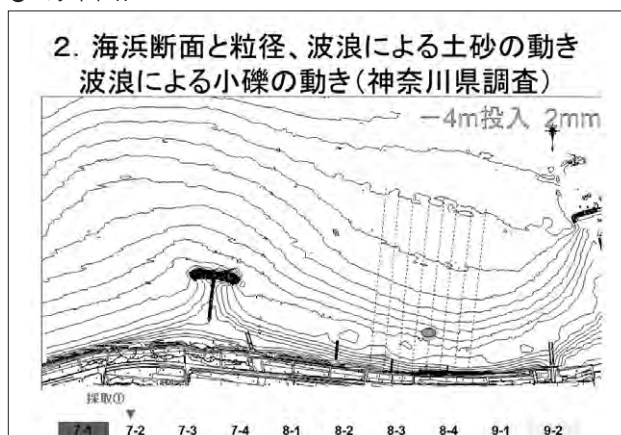
● スライド45



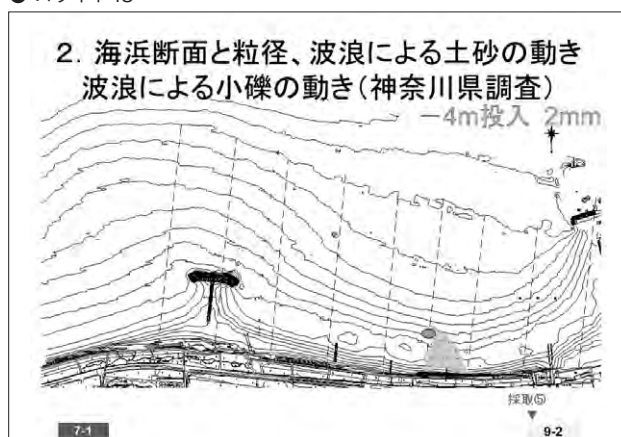
● スライド46



● スライド47



● スライド48



ろと置いた場所の近くにあったのと、あとは汀線沿いにぼつぼつと見つかったということです。2カ月後のときにはもう見つからなかったんでしょう。途中で確認できたのはこのときで、ここでも置いた場所の近く、汀線のところで見つかっただけということです。こういう状況だということです。(スライド49、50)

もう一つ調査の事例があります。これは遠州灘で天竜川で掘削した土砂を養浜をたくさんしているんですけども、その遠州灘というのは砂でできている浜ですから、天竜川で掘削した土砂というのは礫がいっぱい混じっているものです。そこに置いたものがどう動いたかわかるので、その調査の結果を紹介したいと思います。(スライド51)

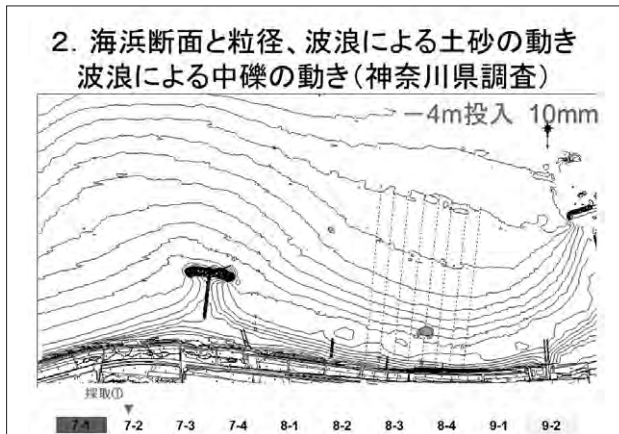
まずもともとの海岸が砂の海岸なんだけれども、浅いところには中砂、砂の中でも粗い成分が多くて、沖合のほうが細砂が多いという分布をしています。

そういう場所に、この中田島砂丘の上手側に養浜を今度したところですよ。養浜した材料の内訳が書いてあります。半分以上礫が混じったようなものを置いているということです。(スライド52)

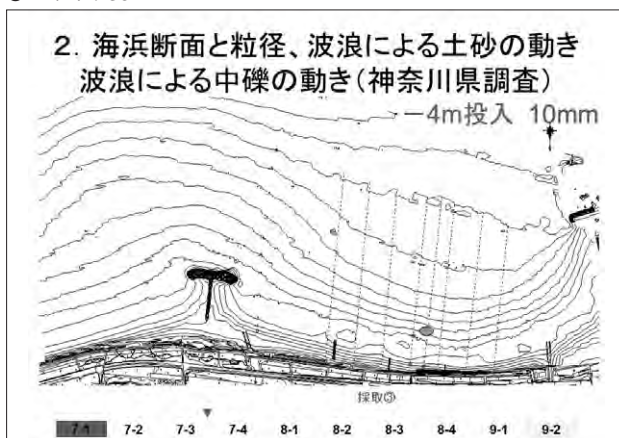
そこで宇多さんたちが、沿岸方向に動いているというのを、表面も調査しましたし、それから人力で穴も掘ってどこにまだあるかなと調査をされた例です。そこで動いている範囲が調べられていて、粒径が大きいものほど動いている範囲が短いということが確認されているということです。やはり動きやすいものは遠くに行くし、動きにくいものほど動く距離は短いということがここでも確認されているということです。

次に、3つ目の侵食対策の変遷ということで、題名を最初こういうふう考えたんですけども、変遷というよりは最近のことをしゃべらせてもらおうと思います。

● スライド49



● スライド50

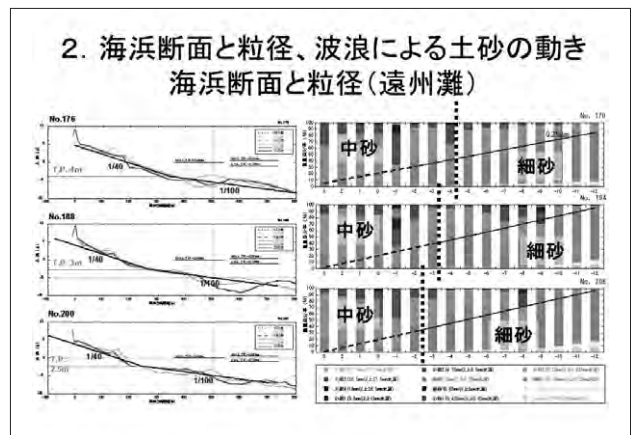


大きな流れをフローにしてみたものです。日本の沿岸は土砂が活発に出てくるような場所でありますので、もともと堆積地形、あるいは平衡状態にある地形だったろう。そういうことが自然状態であって、そこでいろんな沿岸の開発だとか災害とかがあって海岸を守るようになった。その際に最初の守り方というのが、直立堤を作るとか消波ブロックを置くとか、汀線際で線的に守るというやり方をしてきたわけです。これを線の防護と呼んでいます。(スライド53)

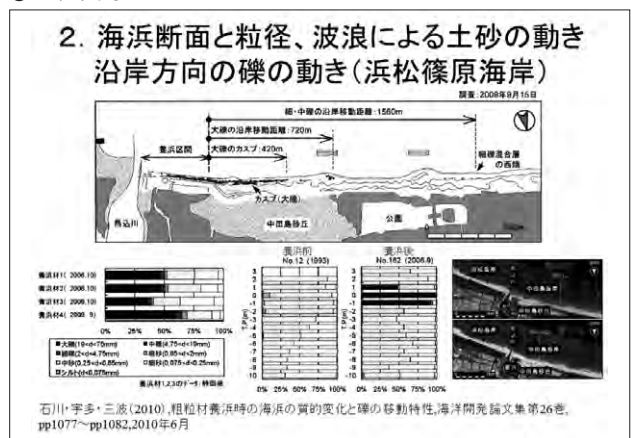
その後、いろいろ弊害が出てきたということで、直立堤を置くと波が反射、侵食されて波が直接当たるようになりますと波が反射したりして大きくなってより掘れるとか、あるいは非常に景観に悪いとか、そういう弊害がだんだん明らかになってきたということがございました。

そんな中で、皆生海岸で豊島先生がやられた離岸堤というものがありました。それによってトンボ

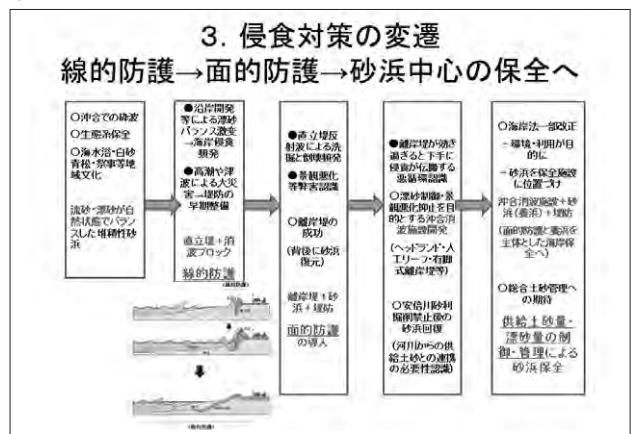
● スライド51



● スライド52



● スライド53



口で浜ができるという成功があったわけです。人工的に浜を復元できる技術が手に入ったわけです。これによって沖合にものを置いて砂浜を置いて、後ろの堤防とセットで守る。こういう面的防護というのが可能になってきた。こういうものが導入されたということになります。

一方で離岸堤が万能かと思ったらそうでもなく

て、離岸堤がきき過ぎますと、下手にそこから漂砂の不均衡が生じて侵食が伝播するという弊害があるということがわかってくるようになりました。

また景観上も飛び出したものが見えますので、日本の松原もたしか世界遺産のときに話題になったかと思えますけれども、コンクリートのバリアが景観を阻害しているという趣旨のことが、ICOMOSの委員会から報告にもありました。景観上も望ましいとまでは言えないと、そんな弊害が認識されたということがございました。

その後、技術開発も幾つかやられていて、その中で漂砂の制御とか景観の悪化抑止を図るための沖合消波施設も開発されました。その代表的なものがヘッドランド、人工リーフ、有脚式離岸というもの。離岸堤ほどじゃないけれども徐々に効果があるような、そういう構造物が開発されてきたということです。

また後でも紹介しますけれども、安倍川の隣、下手は静岡海岸という海岸です。そこで侵食により護岸が転倒するということが何度もありました。その後、その原因は砂利採取だと思われていますけれども、砂利採取の禁止をしてしばらくしてから砂浜が回復するということが見られました。こういうことで離岸堤以外に、供給を確保してやることによって浜が復元できるということの例も出てきた。こういう流れがあります。

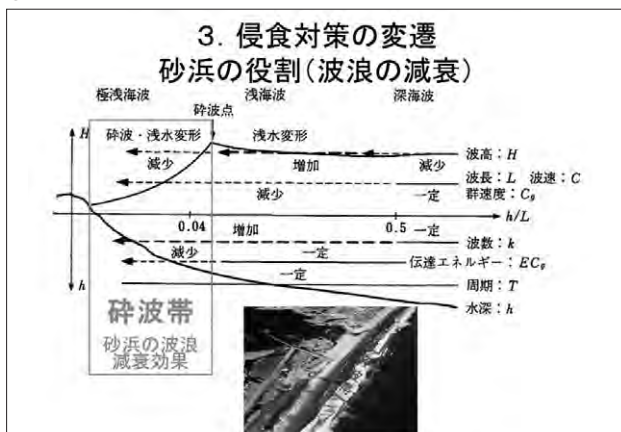
1999年に海岸法の改正がされて、防護に加えて環境利用も目的に加えたということもありました。砂

浜というものを保全施設に位置づけられるように、そういう改正がこのとき行われました。ここで面的防護というものも前面に打ち出されまして、砂浜を主体とした海岸保全が今行われているという流れにあると思います。

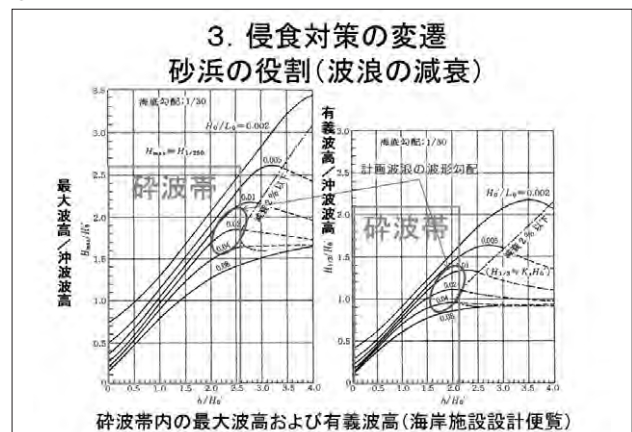
さらに今後プラスしていくとなるとやはり総合土砂管理と、期待されるのはこういうことになるわけです。その際には供給土砂を確保する、あるいは漂砂量をうまく制御するとか、そういうことによって保全ができていくといいなと、こういう流れの中に今いるということかと思えます。

砂浜がなぜ大事なのかということも、もう1回改めて確認しておきたいと思えます。幾つか砂浜の役割があります。その1つが波浪を小さくしてあげるという効果があるということです。これは断面形状です。水深が深いところから波が来るんですけども、波は浅いところに来ると進めなくなるので、波高が大きくなります。それを浅水変形といいます。ある程度以上大きくなるともう限界来ると、碎波ということが起きます。それは現場で見ると白波が立っているという状態です。波が崩れるということが起きます。崩れますと中でエネルギーを消費するので、波高がぐっと小さくなります。これが大切だということです。別にコンクリートでこんな形状をつくれればそれでもいいんですけども、自然の浜があると、自然の形状で浅い碎波帯をつくってくれる。これが非常に貴重だということです。これが大

● スライド54



● スライド55



事だということです。(スライド54)

どれくらい小さいかというのは、海岸保全施設の設計便覧に波がどのくらい減衰するかということを見積もる図がありまして、碎波点のところでは沖の波の、これは波形勾配ごとに線が違います。そこにいろんな波形勾配が書いてありますけれども、実際の現場の計画波浪はせいぜい0.02弱から外洋だったら0.04程度なので、この2つの図ぐらいを見ておけないんですけれども、大体1点数倍、碎波帯のところであるものが岸に近づいていくと2割ぐらいに落ちるということです。これぐらい低下することができるといえます。これがすごく大事だということです。(スライド55)

これは不規則波でこちらの図は有義波で、こちらは最大波です。非常に急激に減るということがわかんと思います。これが大事だということです。

もう1つの役割が、堤防とか護岸が転倒するのを防ぐという効果がございます。これは、典型的な侵食による護岸の壊れ方の遷移を図にしたものです。もともと浜があるときに護岸を作るときには、我々は埋め立ててつくっているわけではありませんから、浜があるところの後ろに作るわけです。その状態では護岸とか堤防の基礎というのは、ちゃんと砂浜に埋まっているという状態で作ります。ところが侵食が進みますと、地盤が下がります。そうすると基礎でこういうふうに矢板がもう露出してしまします。それが続きますと、こういうふうに劣化して

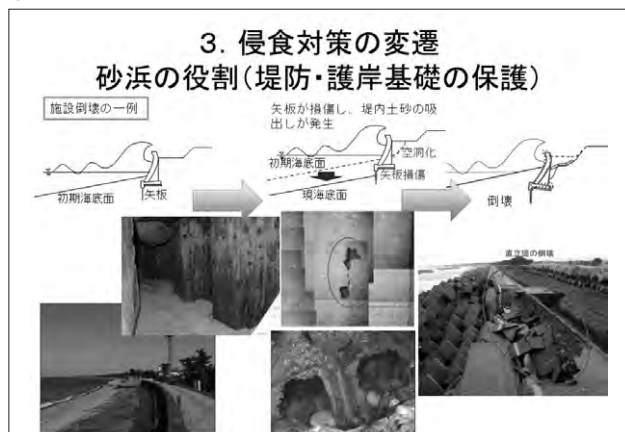
穴が開いちゃったりします。ひどい場所では、摩耗の大きい場所では、矢板に大穴があいて櫛みたいになっちゃう。こんな状態になって後ろから土砂が抜けて、最後は波が来たときにどかっと倒壊するということが起きるわけです。こういうのを防いでいる役割が浜にはあるということが言いたいということです。(スライド56)

主な機能はその2つなんですけれども、それ以外にもどうも機能があると思っています。今、維持管理元年とかって去年から言われています。施設の維持管理が大事だという話になっています。それにもどうも浜は効果があるのではないかとこの話を次にしたいと思います。(スライド57)

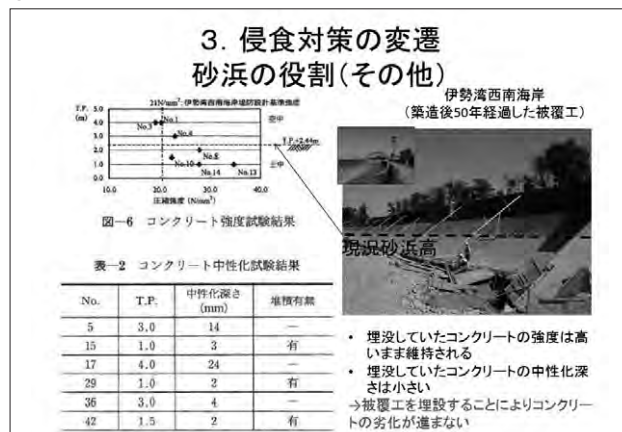
これは、6月の終わりでしたか、今年度、県の直轄事業で返しましたけれども老朽化対策の事業をしていた伊勢湾西南海岸の調査の結果です。50年経過したコンクリートの被覆工について、こちらが強度、下は中性化深さというものの調査をしています。そのときに砂浜に埋まっていた下と上とでどう違うのかというのをグラフにしました。そうすると強度のほうは、砂浜に埋まっているところは出ているところよりも強度が高いということがわかるかと思えます。劣化が進んでいないということでもいいのかと思います。

中性化のほうも同じような話で、砂浜に埋まっていたところと埋まっていないところとでは大きく深さが違うということです。砂浜に埋まっていると非

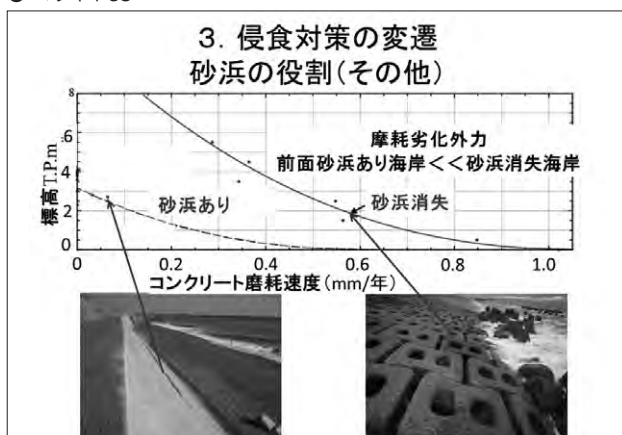
● スライド56



● スライド57



● スライド58



常に老朽化が進むのを抑制するという効果があるのではないかと思います。

それから、質の劣化でなくて現場の海岸に行きますと、浜がなくなったようなところと、護岸を出すところの写真でよくわかるように、角がとれたり骨材が浮き出てきたりする、非常に摩耗している状況を見ることができます。

上のグラフは、配る図には入れ忘れたので入っていないんですけども、この上のグラフは横軸にコンクリートの摩耗速度、縦軸に標高をとったグラフです。これはどういうことをやったかという、現場に緩傾斜の護岸ブロックがあるので、そこで摩耗量を調べたんです。設置してからの年数で割って摩耗速度というものを出して、それを鉛直方向に整理したという図です。そうすると、横軸のこちらが摩耗速度です。標高が低くなるほど摩耗が激しくなるということがわかるかと思います。

一方で同じ宮崎海岸ですけども、下手のほうに行くとまだ浜が残っている場所もあります。そのコンクリートの摩耗量を見るとうんと少ないということです。また老朽化とかそういうことを考えれば、こういう摩耗に対しても浜というのがすごく効果があるということがわかるということを言いたいということです。(スライド58)

4番目に、先進的な取り組みということで幾つか紹介します。まず、これは先ほどの侵食対策の変遷というのに触れましたけれども、静岡海岸の話です。

● スライド59



● スライド60



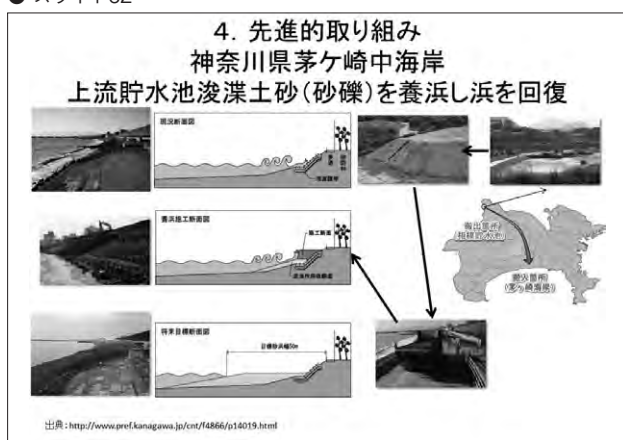
これは静岡県のホームページからとらせてもらいましたが、一時期は川から出てくる土砂が減って護岸が露出するという状態になりまして、何度も転倒するということが繰り返されてきました。ここで砂利採取が禁止されて、また離岸堤を置いたということもあったかと思うんですけども、浜が復元することがあって、それが伝わっていくという状況が見られました。これが総合土砂の一つのお手本ではないかなと思います。河川からの供給増による砂浜の復元という事例だということで、紹介させてもらっています。(スライド59)

2つ目、これもさっき礫の動きということで触れましたけれども、河川との連携という意味で天竜川で掘削した土砂を養浜で使ってもらうことによって浜が復元したという例です。これも一時期はゴミが出て週刊誌で話題になりましたけれども、今は砂浜がそれなりに確保されているということで、お手本

● スライド61



● スライド62

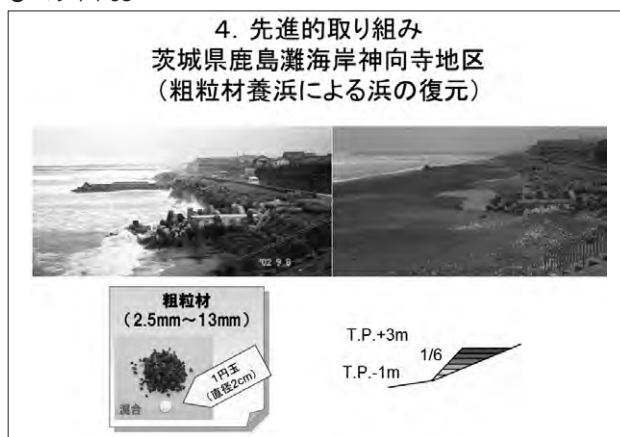


となる成功例ではないかなと思っています。(スライド60)

3つ目、これは鳥取県のほうは県で総合的な土砂のガイドラインをつくっていただいています。これが平成16年だったか10年以上も前につくられていますので、先進的だと思います。ここでは土砂の連続性を保とうとか、よそに捨てるのをやめましょうとか、県外に持ち出すのをやめましょうということをやっています。これによって、鳥取砂丘の前の浜も養浜もたくさんして、今維持されているというふうに思います。これも成功例でないかなと思います。こういうことが全国で広がると本当はいいんだけどという話かなと思っています。(スライド61)

次は、神奈川県の実例です。こちらは相模川の下流に茅ヶ崎海岸というのがあるんですけども、相模川上流にダムがあります。そこでは土砂が堆積して困っているということがございまして、浚渫をす

● スライド63



るということがあります。一方でこちら側では侵食して困っているということがありましたので、ここでは管理する県の企業庁と海岸管理者の県知事とが協定を結んで、浚渫をした土砂を養浜に使おうとやっておられるわけです。その結果、同じ流砂系の土砂を使って浜がだんだん回復してきているという成功例だということです。これは、県知事のリーダーシップが非常に大きかったのではないかなと思います。(スライド62)

次がちょっと毛色が違って、鹿島灘海岸で粗粒材というのを使って浜を回復したという事例です。これは一時期浜がなくなってもう消波ブロックと護岸とで、いつも波がぶつかって塩害で困っているという状況のところだったそうです。ここに、現場はコストなんですけれども、玉石じゃなくて2.5～13mmというビリ材みたいな、1円玉よりも小さい材料を入れることによって、これだけ浜が回復したという事例です。これはどういうことかということ、2番目のところで紹介しましたが、波打ち際のところに粗い材料が集まるという話をしました。人工的に粗い材料を入れてあげて、急な勾配を作って浜ができるということです。こういうことで浜が復元できるという方法が、もう一つ手に入ったのかなと思います。ここは養浜材の運搬費が高くついてしょうがないということもあって、購入材でやったほうが安いということでやられているということです。(スライド63)

次が福田漁港のサンドバイパスです。遠州灘の東側のほうに福田漁港があって、ここで1回砂がとまる。漂砂量が減るということになっているんですけども、ここでは漁港の上手側にポンプを置いて吸い上げてパイプラインで送って、下手で養浜してあげるとい装置を整備して、今運用が始まったところ。こんなのも成功していい事例ができることが期待されるという事例です。(スライド64)

次が宮崎海岸の事例です。ここは一ツ瀬川という県が管理されている河川と、宮崎港との間で非常に侵食が激しいという海岸です。メカニズムとしては北側から漂砂が流れてくるんだけど、量が減ってしまっていることと、港のところに砂が運ばれていくということの両方で侵食が進んでいるという構図になっています。最初はヘッドランドをつくって守ろうとことで始めましたが、地元の方々の、自然の浜を残してくれという強いご意見もあって、なるべく施設を減らしましょう。こういう方針が出されて施設計画を見直して、今は下手のところに突堤を置いて、供給量を養浜とで確保してあげて、それから今後ろに砂丘が守っているんですけども、その砂丘がなるべく後退しないようにしようという3点で守る。こういうふうなことで今進んでいるということです。その際にここで紹介したいのは、いろんな事業と連携して養浜材を確保しているということです。(スライド65)

これは宮崎海岸ではないかもしれませんが。宮崎海

岸の崖の絵があるとよかったんですけども時間がなくて手に入らなかったんで違う海岸のを取り入れています。こういう砂丘の浜崖があったところいろんな材料、河道掘削土砂であるとか道路工事の土砂、そういったもので崖の根元に盛り土をしてあげる。こういうことを応急措置と実験的なのを兼ねてやっていました。それで割と浜崖の後退がひよっとしたら抑制できるんじゃないかということがわかったたので、それをさらに進めて崖の前にこの養浜がもっと減らないように、あるいは砂丘が減るのは根元が削られて落ちて運ばれていくという作用ですので、根元を守ってあげようということでサンドバックというものの、土嚢に砂を詰めるこういうもので守ってあげて、後ろに養浜してまたさらに砂でカバー、覆土してあげるという守り方でやってみようということで今、実施したということです。(スライド66)

この間の台風でも、大した波は来なかったんですけども、一応機能を発揮しているというふうに思っています。

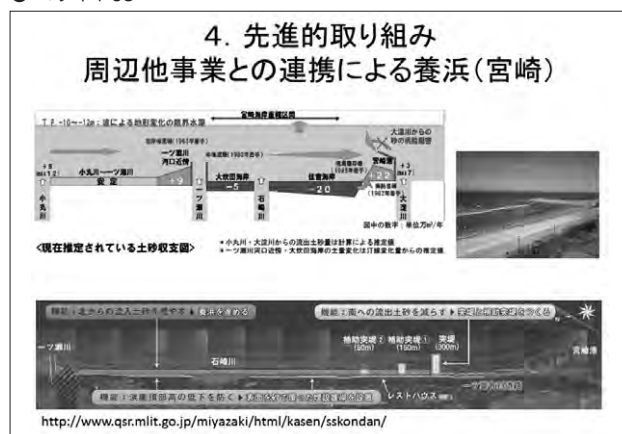
こういうふうな材料をするときに、いろんな航路の浚渫とかいろんな工事の周辺工事から養浜材をいただいているということが、非常に工夫している事例ということで紹介させてもらっています。

次は千里浜です。ここは金沢港で航路浚渫をされていて、その土砂を置き場が大分少なくなってきたという事情がこちらにあるということ。一方で千里浜はな

● スライド64



● スライド65



ぎさドライブウェイという地域の観光資源でもあるような浜が少なくなっているんですけれども、ここを何とかする必要があるということで、これがうまく連携できないかということで今、検討委員会でやりながら進めているものです。ここは汀線際の漂砂はどうも西に向かって動いている。一方で、沖合はどうも東に向かって動いている。これは海浜流で動いているのか、あるいは収支の結果として動いているのか。そのメカニズムに幾つか説はありますが、結果として砂の動きとしては沖合では東向きに動いていて、岸向きでは西に動くので、ここに来る量をふやしてあげるという意味で、それからこちらで掘削した土砂の有効利用を図るということを考えて、将来的には掘削した土砂を沖合に入れてあげる。自然の力で運べないかというようなことが今検討されているということです。ただ緊急的に回復する必要もあるので、船で持って行って養浜ということもやってあげるということです。(スライド67)

これは何が言いたいかというと、港湾と海岸の連携というので非常にいい例ではないかということで紹介しました。

以上、いろんな事例がありました。今後土砂の管理、総合土砂というものでどういうことが期待できるかという話をしていきたいんですが、それに当たってもう一回改めて海岸侵食の原因です。そこからどういう関係者が連携する必要があるのかということを考えていきたいと思います。

侵食の原因について、宇多さんが7種類ぐらいにまとめておられます。それに沿っていきます。1つ目の侵食原因として、沿岸卓越漂砂を阻害する、阻止するということによって下手を侵食するというパターンがあります。これについては沿岸だけの漂砂を阻止するという方と協力しないと、ことが進まないということです。そういう意味でどういう方が連携の相手になるか。あるいは協力する相手になるかと言えば、これは港を作る方、あるいは河口の導流堤とかだったら河川管理者、こういう方と協力しないと守れないということになります。

では同じように見えるかもしれませんが、2つ目の原因として、港の特に横向きにはねるようなこういう防波堤を作る波が弱いという場所ができてしまっ、そこに向かって波が強い場所から波が弱い場所に向かって砂が動くという性質があります。こういうことで起きる侵食原因を遮蔽域形成というふうに宇多さんは呼んでいます。こういう原因もある。これについてもこういう防波堤を作る方々と協力したりしていかないと、なかなか有効な対策が打てないということかなと思います。

3つ目の原因が供給土砂量の減少です。供給土砂というのはいろいろ要因があります。安倍川は、河川から来ている土砂が減ったという話でした。それ以外にも昨日とか一昨日とかニュースとか新聞に出ていましたけれども、九十九里浜ですと屏風ヶ浦とか太東崎という海食崖が供給源になったりしていま

● スライド66



● スライド67



した。そこを自分たちが海岸保全事業として崖が後退するのを防止するという工事をしましたので、供給量が減っているという面もあります。これは自分と自分で連携するという話かもしれないという話になります。それから隣接する浜が供給源になっている場合もある。これも自分と自分が連携するという話かもしれないということです。それ以外の供給源であれば、そういう方々と協力しないといけないことになるのかなと思っています。(スライド68)

4つ目の侵食原因として、海の中を掘削する、骨材をとるために海底を掘削するというをやりますと、さっき2番目で海岸の断面が形成されるという話をしましたが、ああいうのは波の力とバランスして規定されているものなので、こういう穴を掘ってそのバランスを崩してしまいますと、そこに向かって砂がまた埋めるような働きがあって侵食が進むという現象が起きます。これですと砂利掘削を制限するとかそういうことが大事になります。また同じような作用で天然ガスとかそういうものをとるために、地盤沈下。あるいは養殖するための水をくみ上げたりすると地盤沈下が起きたりします。地盤沈下が起きると同じようにバランスを崩すということが生じます。そういうことで侵食が進む可能性があります。こういうことは原因を取り除く対策が有効だということです。

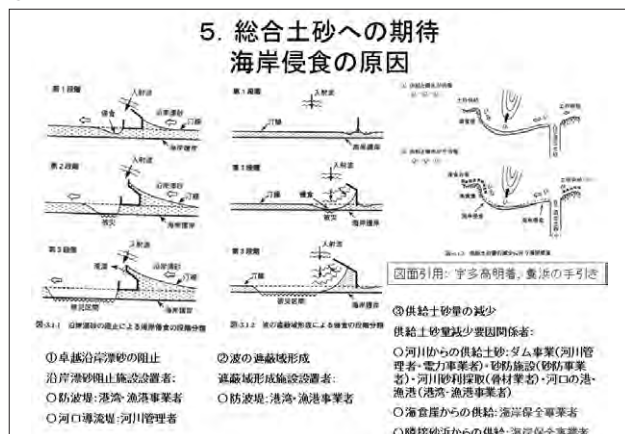
5つ目の侵食原因は、離岸堤を作る、ポケットビーチなんかで片側に離岸堤を作る、あるいは人工リー

フを作ったりするんですけれども、片側だけにこういう施設をつくってしまいますと、トンボロを作るための土砂を周りから引っ張ってくることで固定化するということが起きてしまう。そうすると侵食が起きることがあります。こういうのは自分の中でちゃんと解決策をやらなければいけない、こういうふうなことに分類できるかなと思います。(スライド69)

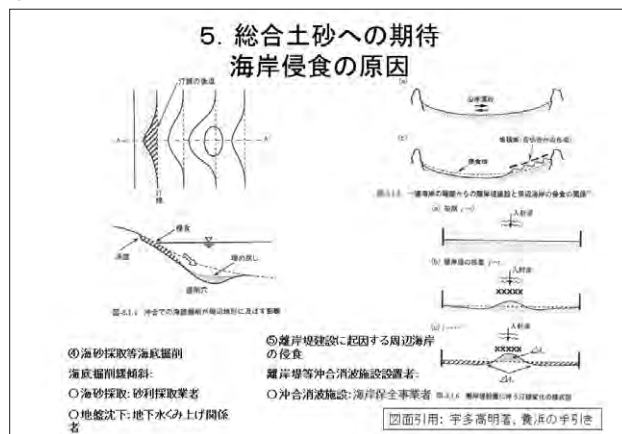
6つ目の侵食原因が、海からではなくて陸上でいろいろ飛砂が飛んで困るよといって、保安林とかを作っていくことが、過去の空中写真を見ると非常によくわかります。広い砂丘と浜が連続した場所にぐわっと緑のバンドが増えていって浜が狭くなったという箇所が日本のあちこちにあります。ある程度のバッファをとって作る分にはいいんですけれども、あまりに狭くなり過ぎるとやはり人工的に守らざるを得なくなるということが生じます。こういうときにはこういう整備、あるいはそれを望む声との調整が必要になってくるということだと思います。

最後、7つ目の侵食原因は、環境に配慮するとか利用に配慮、あるいは津波から避難を促すという意味で、昔は直立堤でつくったんですけれども、そこに緩傾斜の整備ということがやられています。これはもう形を見て明らかなように、緩斜面で作るとその分用地が必要になります。そうすると貴重な砂浜をつぶすということになりますので、こういうことも浜が広い場所でやるのは構わないんだけど、

● スライド68



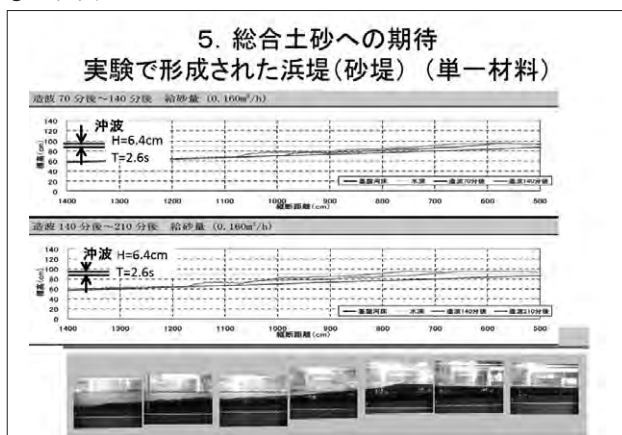
● スライド69



もう少し進歩したやつだと、粒径を考慮したモデルで今やっている場合がある。代表的なのがNライ

恐らくこれまでの過去の講演の中で、粒径集団というのが重要なキーワードになっていたのではないかと思いますけれども、河川のほうで粒径集団という形で土砂を出していただいたときに受け取る我々のほうもどう扱うかということが大事なので、こういう話をしています。そのときにはただ浜を確保するという目的だけに特化すると、粗い材料だけを出せばいいんだなという話になりがちということですよ。本当にそれでいいんだろかということを考えてみたいということです。

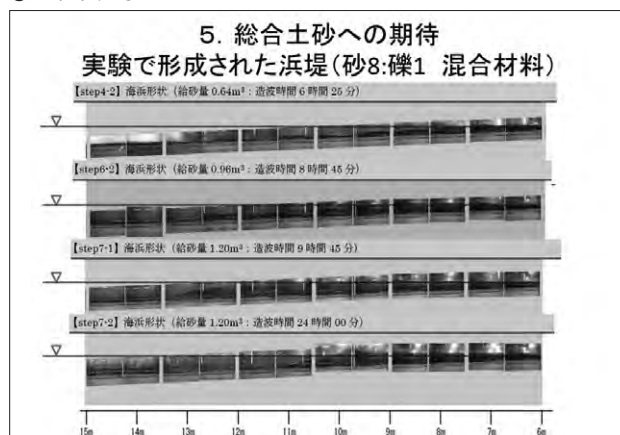
● スライド72



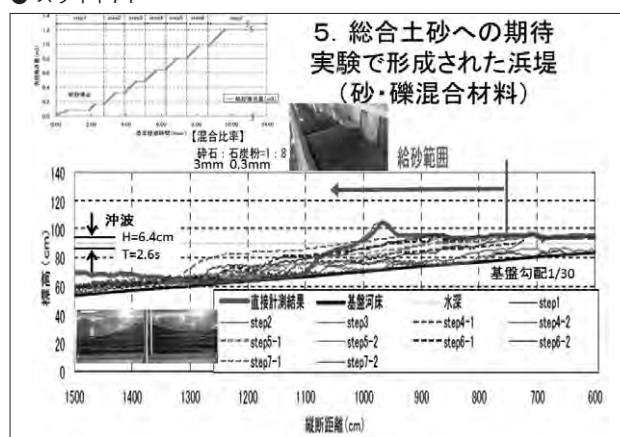
これは断面で水路の狭い水路ですけれども、2次元の水路で浜を作るといふ実験をしてみました。どういふ実験をしたかというといふ、1/30の固定床のものを作ってそこにどんどん土砂を入れていくといふ実験をしたわけです。自然インフラの話をしたときと同じような形の浜がちゃんとできるんです。だんだん前進していったような形ができたということです。これは砂に当たるような材料だけを使ってやった実験です。浜堤らしきものがちゃんと形成できたということです。(スライド72)

次にさっきの計算モデルのところでも説明しましたがけれども、石ころだけあったらいいのかという話を考えたいと思います。砂と礫を混ぜたものを入れて同じように地形を形成するといふ実験をやってみますという話です。これをやってみるとやはり同じように前進していきます。投入すればするほどです。ところが最後、供給するのをやめてみると、削られて礫の山ができました。もう少し拡大してみると、こちらです。この写真がわかりやすいですか。こうやって石ころだけの山ができた。これでバーム、浜堤ができました。ずっと供給し続けているときには緩い浜でどんどん前進していったんですけども、供給するのをやめちゃったら細かいものは沖に運ばれていって粗いものが打ち上げられて、賽の河原みたいな、ある種そういうものができた。防護という意味ではこれでもいいかもしれないですけども、あまりにも味気ないんじゃないかということです。

● スライド73



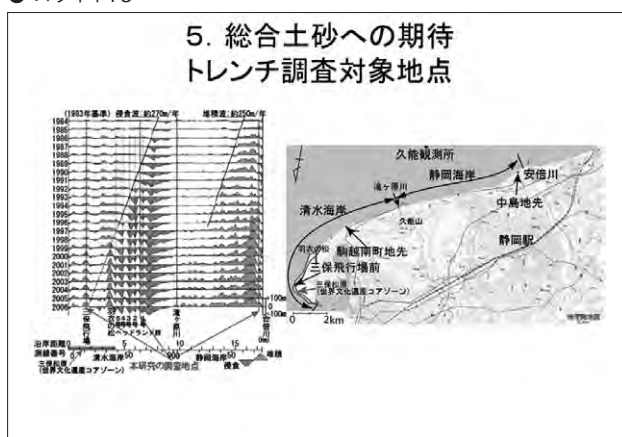
● スライド74



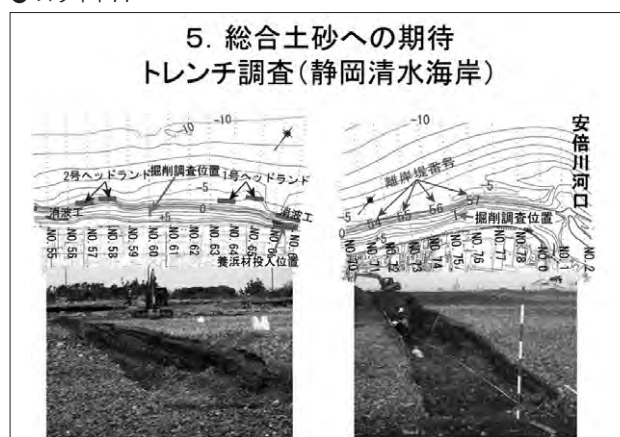
もう一個ここで重要なのが混ぜたもので供給されていると、必ずしも石の勾配ができるわけではないということです。砂が混じっているとそれなりに緩いものでもちゃんと浜が出ていくということも大事なかなと思っているところです。(スライド73、74)

今のは水路実験ですので、現場でどうなっているのか、もう1回調べてみようということで、静岡海岸、清水海岸でトレンチの調査というのをやってみました。2番目でやったのと同じような整理ですけども、海岸の断面と構成している材料というものを復習しておく、静岡海岸というのは急なところと緩いところとが折れ曲がっていて、急なところというのは主に礫で構成されている。緩いところは細砂で構成されているというふうになっています。安倍川から土砂が供給されて流れていって、最後、三保の砂嘴を形成していくというふうになっています。

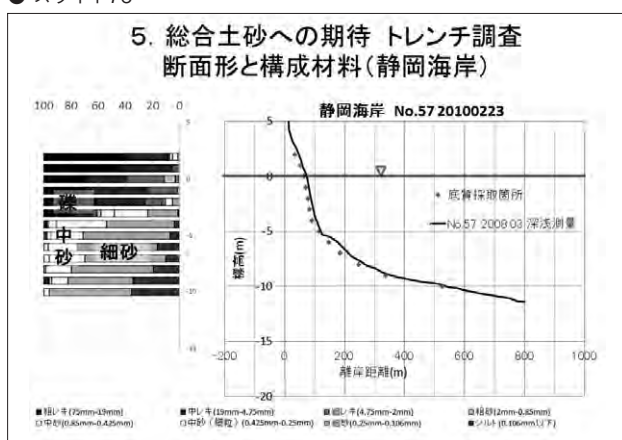
● スライド75



● スライド77



● スライド76



ます。ここでは砂利採取等が原因と思われるけれども、侵食の波がずっと下手に向かって進んでいるということがあるわけです。

一方で採取を禁止した後は、浜の回復と波が東に向かって進んでいるということが起きています。

今回現地でトレンチを掘ってみたというのは、こういうまず回復したという場所で1カ所掘ってみた。もう1カ所はまだ堆積していく波が届いていない場所でもう1カ所掘ってみました。最後、まだ侵食する波が届いていないと思われるような堆積域のような場所でも掘ってみた。3カ所で穴を掘ってみたという話です。(スライド75、76)

どういことをやったかという、10mも穴は掘れませんので、生き埋めになっても困りますので、重機で人が埋まらない程度の穴を掘って層構造を見ました。こちらが河口に近いところの堆積域が来ている場所です。こっちはまだ堆積する土砂が来

ていない場所です。後でまた繰り返しになるかもしれませんが、ちょっと見てもらうとわかるように、右の図のほうが後ろに、砂が表面に見えているところと石ころだけのところがあります。左の図は砂が見える場所があまりありません。そこはちょっと覚えておいてください。(スライド77)

もう一カ所一番下手の三保の松原のここで掘ってみました。実は順番はこれを一番最初にやりました。このときに失敗したと思ったのは、深く掘り過ぎて水が出てしまって中に入れなくなりまして、それからちゃんと地下水位以下は掘ってはいけないと思ってさっきみたいな写真のようにやっています。

ここでは波打ち際のところは礫が見えて、その後、表面に砂が見えている範囲があって、また礫が見える範囲があって、また最後に砂というか小礫が見える。こんなふうにまだ模様になっています。そこでこの礫のところを見てみると、主として礫が多いような層で構成されているということです。(スライド78)

次にこちらは礫の後の砂の範囲のまた次の礫のところ掘ったものです。上のほうは礫だけ。下のところには砂が混じっているのがあります。もっと奥のほうに行ってみると、礫と砂が混じったような、あまり縞模様が見えない場所がありました。

次にまだ堆積する範囲が来っていない、まだ厳しい環境にあるんじゃないかと思われるところの断面ですけれども、ここは掘ってみると礫が主体となって

いる層になっているということです。(スライド79)

次がもっと安倍川の河口近くのところですか。ここでやってみると、やはり海に近いほうは礫が多いんですけれども、奥に行くと砂の層も混じるようになります。一番奥のほうに行くと砂主体です。そんな層になっていくということです。(スライド80)

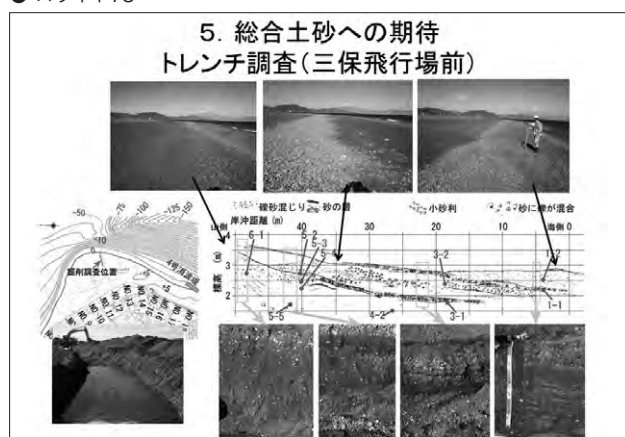
河口近くのと場所とそれからまだ侵食で厳しい環境にあるところ。この2カ所のそれぞれの材料を幾つかとって見た。その粒径加積図を書いてみたものです。これを見てもらうとわかってもらえるんじゃないかと思うんですが、まだ侵食が厳しい環境にあるところは、石ころばかり、石ころ主体になっています。一方、河口に近いところに来ると、砂が入っているものもずいぶんあるということです。これがふるい分けしたサンプルですけれども、Aと書いてあるのが安倍川に近いほう、こちらの断面です。Sと書いてあるのがまだ厳しい環境にあるという場所で

す。こちら礫主体のところはSが多い。右側が砂で左側が礫です。砂分が多くなる場所はAとついているのが多いということがわかってもらえると思います。(スライド81)

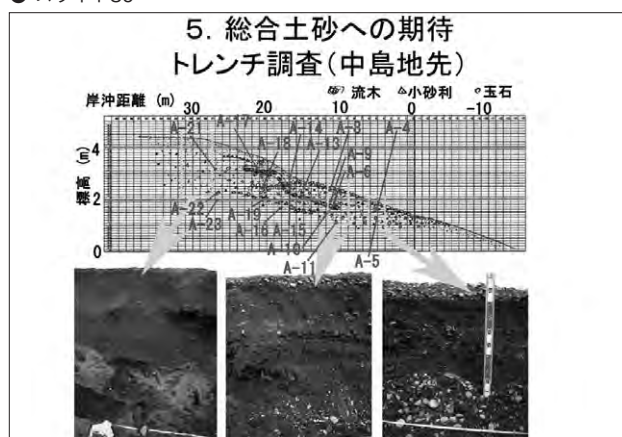
さらに冒頭、海から撮った写真のときに、奥に砂が見えるでしょうという話をしましたけれども、断面をもう1回重ねて書いてみました。高く見えるほうが堆積範囲が来ている断面です。黒いのはまだ侵食の厳しい環境にあるという断面です。断面の形も低いですし、材料も石ころが多い。一方こちらのほうは砂が多いということで、何が言いたいかというと、やはり石ころだけあればいいというものではないんだよねと、砂が来てくれると、自然インフラでいっている浜堤も発達するのではないかとということです。

もう1回しつこく言うと、モデル上の扱いとしてはどうしてもこういう計算をせざるを得ませんけれ

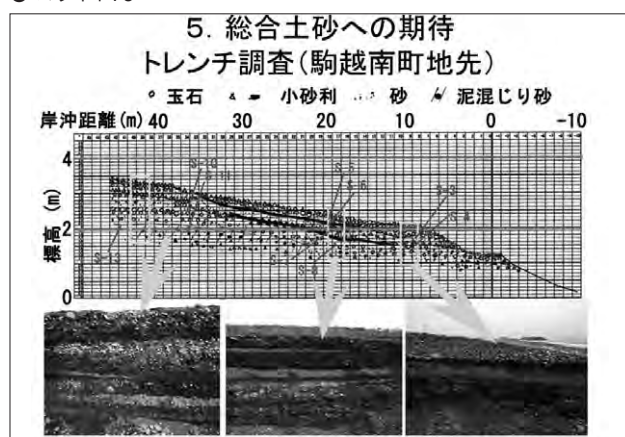
● スライド78



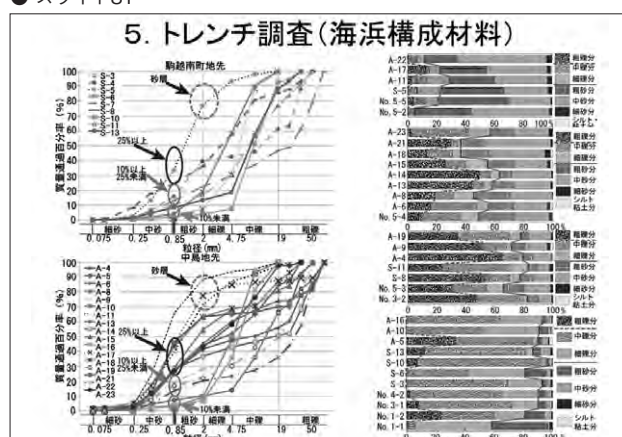
● スライド80



● スライド79



● スライド81



ども、こういう計算をしたときに、浜幅を確保するには石ころだけあればいいということで石ころだけをもらってもよりいい浜にはならない。中に砂をもらわないといけないということが、5番目で言いたいことです。

ということで、もし今後河川のほうから供給土砂をふやしていただける、こういうことをしていただけるのだったら、石ころも大事なんですけれども、砂分も含めて供給していただけるとありがたいなということが、言いたかったということです。

ちょっと早いかもしれませんが、以上で私からの話題提供を終わりにしたいと思います。ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 3点ほど教えていただきたいのですが。

1点目は「総合土砂」という言葉を使われましたけれども、「総合土砂管理」というふうに言われなかった理由。最後のほうのお話とも関連するかもしれませんが。

2点目は、最初のほうだと思うんですが、海浜断面と粒径、波浪による土砂の動き、断面形と構成材料というところで、仙台湾南部について海岸のライドを見せていただきました。私自身、3.11以降の砂浜の回復がどうなるのかというところに非常に興味がございます。震災後このあたりを調査をされたのでしょうか。もし、されているのであればこの情報がどう変わったのでしょうかというのが2点目です。

3点目は、先進的取り組みの事例ということで宮崎のお話をいただいたんですけれども、養浜の供給土砂として周辺他事例との連携ということでいろんな種類のものを使われているんですが、これは生物の環境あるいは景観という観点から何か議論があったんでしょうか。その3点です。

諏訪 ありがとうございました。「総合土砂」といって「総合土砂管理」と使わなかった意味があるのかという話ですが、あまり深く考えて使い分けていませんでしたということでもあります。今改めて考える

とどうだろうな。私の気持ちとしては「総合土砂管理」と言いかえていいのかなと思っています。

2点目の仙台ですけれども、こういう底質を各水深でとるという調査は、残念ながらまだやっていません。ただ現場には何回か足を運ばせてもらってまして、そのときの印象だけをしゃべらせてもらいますと、ヘッドランドをつくっている場所というのは山元海岸とっていて、この断面を見てもらってもわかるように、震災前は現場はもう浜がなくなっているという状態でした。後ろに山が迫っている地図もあったと思うんですけれども、震災のときには大きく波が越えて堤防全壊、ぼろぼろになっちゃいました。なのである種自然にセットバックしているという状態でした。

何回か足を運びましたけれども、堤防復旧している段階で流入河川のところはどうしても後回しになっているんですけれども、そこに津波湾と称するようなものができていて、そこには湾を取り巻くように、私がバームと呼んでいるようなきれいなものができていました。だから何というか、浜を復元するというのを考えれば、後ろの土地が許してくれるのならば、下がってあげれば養浜と同じような効果があるのかというふうに感じました。ただ、国土は貴重ですのではなかなかそういうことは許されないということもあるのかなと思います。

宮崎海岸のことに關しては、もう場所はたぶん違うと思うんですけれども、波が洗うような崖ができってしまう場所なので、とにかく何かしないととてもじゃないけど耐えられないという状態なんです。そこで石ころが混じったような土砂を前に置いてあげると、それなりに高波が来ない間も崖の後退を抑止してくれます。そういう意味ではやはり効果があると思ったということ。

あと、ここではウミガメの調査をされている先生方の指導も仰いでいまして、ウミガメの産卵場なんです。それに配慮したようなこともやっていこうということで進めています。

そういう中で、これが仕上がった形ですけれども、

表層は表面と同じような中砂、細砂というか砂分で覆うということをやっています。この間台風が来たとき、産卵した場所に旗がいっぱい立っているんですけども、そういうのが後ろの覆土したところにいっぱい立っていましたので、それなりに配慮した形になっているかなというふうに思っています。

どういふ議論があったかという話ですけれども、これは全員の総意ということではないんですけれども、ヘッドランドという形で当初始まったという話をさせてもらいました。そういう方たちの主張というのは、コンクリートを使うのをできるだけ少なくしてくれという話なんです。それに比べれば、こういうコンクリートじゃない材料でやってもらうのは、はるかにましだと思いますか、そういうことでもありますし、そういうときに土砂でやるほうがましだと思います。

質問者2 2点ほど教えてください。土砂管理をするときに海岸が問題になっている河川が多いと思うので、海岸にとって必要な量をみんなで協力して出そうというのが落としどころになるケースが多いかと思います。海岸で必要な土砂の量をどうしても決めないといけないというところがある。海岸の方に聞くと、多ければ多いほどいいという結構アバウトな話が多いんですけれども、その辺をどうやって決めていけばいいか。先ほど砂もあったほうがいいよとか、その辺の質別の必要量をどういふふうに決めていったらいいかというところについて、ご意見をいただきたいのが1点です。

2つ目として、土砂管理の具体的な連携の手法として幾つか侵食の原因を挙げていただいたんですけども、それを解決するための方法としてハードを直接いじるのはもう難しいと思うので、流砂量、供給を増やすことが1つと。あとは養浜材として直接海岸に置くという2つがあるのかなと思っているんですけども、先ほどの最初のほうの事例で養浜材としては買ったほうが安いという話も結構あって、わざわざ運搬して持っていくか購入するかという話になると、ちょっと土砂管理というよりは施工とか

コスト縮減の話になりがちで、その辺具体的な連携手法について、ご意見があればお聞かせください。

諏訪 土砂量の決め方のところは、正直ちょっと耳が痛いところがあって、先ほど計算モデルの話をさせてもらいましたが、汀線変化モデルというところでやる時には全体量として出るだけなので、河川のほうできめ細かく粒径集団別に出していただいても、それに応える材料が提供できないというのが我々のほうの技術課題なんだと思います。

一方の下のほうにある粒径を考慮したモデルでやると条件としては、量を入れてシミュレーションをするとできますので、これでいくとある程度砂利分と砂分でどれくらい欲しいというようなことは、計算上では言えるかなというふうに思います。ただ、検証というんですか。本当にその量なのかと、こういうところについては厳しい見方をする人から見ると、本当に正しいのかというのは課題が残っているかなと思う世界であるところでもあります。

アバウトだと言われると、全くそのとおりではあるんですけども、ちょっとうちの施工の話とも関連しているかもしれないけれども、応急的には石ころだけでも浜を作ることが大事なかなと思います。その後質が追いついてきて砂分が増えてくれば、自然の作用として浜らしい浜になっていくのかなと思います。単純に施工の問題というよりは段階的にというんですか。先ほどのそちらの言葉を借りると、施工の問題は応急的にまず浜を確保するというときにやっておいて、その後、質が追いついてくれば、より質が高まっていくのかなというふうに感じるころであります。

あと茨城県の話でしたか、購入のほうが安いという話でしたか。あれは茨城県だと海岸まで運ぶ距離が、たぶん近くに石ころがある場所がないので運搬費がすごく高くつくということかなと思います。それに比べると購入したほうが安いということで選ばれているというふうに聞いております。だからそれは場所、場所で違っていると思っています。近くで手に入るなら、やはり掘削土砂の神奈川県とかが

やっているような、粒径、同じ流砂系の中のものを使うほうが王道なのかなというふうに思います。

これは聞かれていないのかもしれないけれども、河川との連携というときに、ちょっと感じるのは、一級河川でも河口部がたしか港で使われているというのは、半分ぐらいはあると思うんです。あるいは河口の隣に港があるとかそういうものもあるので、河川と海岸が直接つながっていれば、2人だけでやればいいのかもしいんですけれども、やはり間に港湾が入ったりすると、そこは港湾管理者が管理されているので、そうなるとやはり港湾も入った中で連携していくということがどうしても要るのかなというふうに感じております。以上で答えましたか。ありがとうございました。

質問者3 私のほうから質問をさせていただいてよろしいでしょうか。

私はどちらかというと河川を担当する者としてお話を聞きしました。これまで、総合土砂管理というのは、土砂系をもとに戻すという意味で取り組まなければならないという頭で取り組んでまいりました。私も現場に行っているところがありまして、今日5番で海岸侵食の原因をいろいろお話いただきました。諏訪室長は海岸管理者だけではできないことだというお話をされましたが、この話を聞いていると、逆に河川管理者だけではできないこともあるというふうに思いました。現場でもそのように見たことがあります。私が現場にいたのは、大和川なんですけれども、完全に埋め立てとコンクリート護岸でどうにもない川であります。そのほか港湾の突堤とかが原因しているのではないかと、そういった川というのでも幾つかあります。河川管理者だけでもどうしようもない海浜というのがあってはないかという思いで見えておりました。今日の話はそこが目からうろこでした。

そういう意味では、全国の海浜を見たときに、ここに幾つか類型化がありますけれども、ほぼ、どの川も河川からの土砂供給量が少ないということが主な原因なのか。そのほかのものとの割合というんで

すか。または川とか海浜ごとに、この類型化のどれに該当するのかというのが全てある程度整理されて、実務の中にもそういった知見が応用できるようなものがあるのかどうか。ちょっと私はそのあたり全く不勉強でわからないものですから、何か示唆いただけるものがあれば教えていただきたいと思います。お願いします。

諏訪 もちろん河川管理者だけで解決できるはずはなくて、海岸管理者の中でひょっとしたら解決できる場所もあるかもしれないというふうに思っています。というのが1つ。

それから、後半の海岸別に侵食原因の量的、数量的な寄与みたいなのがわかるかという質問かと思えます。これについては難しいと思っています。難しいという意味は幾つかありまして、1つはみんながみんな合意するというような、量的な解決は恐らく相当難しいだろうと思っています。というのもこういう原因の話をするとうるさかになるかということ、自分たちのせいじゃないよという感じのことにどうしてもなりがちなんです。こちらの立場としては海岸がよくなるということやりたいのであって、誰が原因かということだけで終わってしまうのでは、それは目標を達成できていないので、そこを一生懸命追及してあれこれ角が立って仲が悪くなったりして解決できなくなるというのはあまり得策ではないと思っています。

質問者3 そこまででなくてもいいんですけれども、5つに分類されているうち、どれが日本の海岸の中で、3の供給土砂量の減少というものが日本の海岸のほぼ原因の主流なのか。それともほかのものも結構あって、フィフティ・フィフティでほかの要因で海岸が衰えているのかとか、その辺の塩梅だけ聞かせていただきたかったですけれども。

諏訪 それは供給土砂だけではなく個人的には思います。もちろん沿岸で作っているのも相当あると思っていますけれども、それを言うことで、また繰り返しになっちゃうんですけども、いろんな支障が出て来ないことですかね。

質問者3 そうすると河川管理者からすると、河川だけが全て海浜の衰退に責任を負って、土砂を出すことだけを考える頭というよりは、ほかにもいろいろ要因があるので、海岸ごとの原因とかそういったものをよく理解してつき合っていく必要があるのかなと、それぐらいのことが、今日よくわかったということですが。

諏訪 こちらからすると、原因が河川だから何とかしてくれということをお願いするつもりではないんです。だから今後いろんな必要があって、ものができたり港をつくったりもするし、止水もしていると思うので、そういう中でよりいいものを作るときに、誰が責任というよりはできることで協力し合えたらいいかなというふうに思いまして、河道掘削するときがあればぜひ使わせてもらえるとありがたいなと。また骨材も貴重な資源なんだろうけれども、骨材に先やる前に海岸に投入してくれんかなと、そういうふうに思ったりもします。

質問者4 今日は貴重な話をありがとうございました。2点お聞きしたいと思います。

1つ技術的なところで今議論の中で、河川と海岸の役割分担というか、諏訪室長はどちらが悪いという話ではないという話だったんですが、技術的なところでいくと全部の河川がそうではないですが、河口テラスというのが土砂が河川から海岸に行くときに非常に重要な領域というんですか。河川と海岸じゃなくて河川と河口テラスの領域と海岸というような形で結構分析しているところが多いと思うんです。そうすると河口テラスというのが、1回出た土砂がたまってそれが沿岸漂砂に変わるところで重要な領域なんですけれども、逆に言うと、複雑な動きをしていてなかなか難しいというのが、結構河川管理者もそうですし、海岸管理者さんも、土砂の動態把握をするのが難しいという話があります。

河口テラスの土砂移動機構というか、そういったことをよりよくわかるためにはどういったことに注意したほうがいいのかとか、もしそういうアドバイ

スみたいなのがあったらひとついただきたいということですが。

もう1点は、ちょっと行政的な話ですが、例えば河口テラスというような、複雑な話をすればいろいろな河川区域であったり港湾領域であったりとか、そういうのが非常に複雑に絡んでいると。例えばその機構を解明するためには、その3者がおのおのやることはいっぱいあるんでしょうけれども、当然連携してやる上で何か共通的な指標。例えば汀線測量なりはきっちりやりましょうとか、必要最低限のルールというか、条件みたいなものがもし何か現時点の知見の中であれば、あわせて教えていただきたいという2つお願いしたいと思います。

諏訪 河口テラスの話をしなくて申しわけなかったですね。河口テラスだと、たしか安倍川の河口で砂利組合か何かが測ったんですか。ナローマルチビーム測深で非常に密度高くはかっているということで、かなり宇多さんが分析されていましたが、テラスが増えてそれがまた減っていくということで供給量が相当わかるので、やはり形を川のほうのイベントなどに合わせて押さえていくということは、有力な手段かなと思います。問題になるのはいつもお金がどうだとか、誰がやるんだとかそういうことかと思いますが、そこが解決されるといいのかなと思います。

この間、グリーンレーザーでしたか。ああいうものでもし安く測れるのだったら、相当有力かもしれないというふうに思いました。

あと共通の指標ですか。そうですね、本当はたぶんフラックスみたいなものの絵がかけるときと連携しやすくなるんだろうなというふうに思います。どこかで藤田さんがよく言っていた、土砂動態マップですか。ああいうものが連続して書けると相当共通の認識になるんだろうなと思います。なのでそういうものを書けるようにしていかななくてはならなくて、それはさっきの質問にもあったけれども、海岸のほうがアバウト過ぎると言われると、そこがひとつネックなのかなというふうに思っています。

質問者5 今日ありがとうございます。

先生のご説明の中で神奈川県茅ヶ崎海岸の粒径の違った砂、礫のトレーサー投入のご説明があったと思うんですが、この調査ではどういうふうに動きがあったかということはご説明を受けたんですが、これでどうということがわかって、この海岸事業に対してどういうところにこの結果を生かされたのか、教えていただければと思います。よろしくお願いします。

諏訪 何がわかったかというのは僕の説明が悪くて伝わらなかったのかかもしれませんけれども、先ほど断面図のところで浅い急勾配のところは、礫が主でこっちは砂が多いという、まず実態としてそうになっているという話をしたいと思います。その後トレーサーを追うことによって確かに粗いものは水深4mところに置いてこっちに帰って来たりするというところで、かなり分級して動くということが相当わかったのではないかと思います。

あと事業にどう反映されたかという、さっきの相模川の上流のダムの浚渫土砂を養浜しているのに生かされていると思っています。浚渫土砂の中に石ころももちろん混ざっているし砂もいろんなものが混ざっていますけれども、そういうものが礫分が多いほど、養浜でいうと歩留まりがいいということをよく言うんですけれども、浜が太るほうに寄与しているということで使われていると思います。なので相当にこの調査で実証されて役立っているというふうに私は思っています。

質問者6 よろしく申し上げます。

最後にありました、総合土砂への期待ということで静岡海岸と清水海岸のトレンチの事例がございましたが、説明の中でちょっとなかったんですが、一番下手側の三保の松原の前の三保の飛行場前のトレンチと、それから堆積してきて砂浜が復活したところの分級状態というか砂浜の状況、ここは同じような状態というふうに認識すればいいのか、違うのかという質問が1つと。

それから、総合土砂の管理という観点でこのフィールドを考えたときに砂浜が復旧していくのは

20年で大体全域の5分の1ぐらいなので、このままほっておくとたぶん100年ぐらいたたないと、1回侵食して三保の松原も前浜がなくなってそれからということになると、100年先にならないと復元しないということなので、その時空間を超えるようなマネジメントというふうに治療の過程だというふうにすれば、例えば今侵食しているところはヘッドランドなんですけれども、離岸堤にして完全に防ぐとか今堆積しているところは多少砂浜が減ってもいいので、そこからサンドバイパスなり何なりで先んじて細粒分を、今侵食しているところに持って行ってあげるとか、この空間の中で少しくローズするようなマネジメントというんですか。そういうのもあるのかなというふうに受け止めたんですけれども、その辺についてお考えがあればお聞かせいただきたいという2点でございます。

諏訪 1点目の質問は、実はこの場所ですけれども、後半の話にもなっているかもしれません。L字突堤というのは三保の松原の羽衣の松でしたか、あその前にL字突堤というのがあってその下手というのがすごく厳しいんですけれども、その自分の中で解決する対策ということの1つとしてこの飛行場の前がどうしても地形的にたまる場所なんです。前が海底谷になっていてすごく深いところまで土砂がたまっていくと。ある種有効に使われることなく、なくなっていくという場所でもあるので、ここで土砂をとってリサイクルするというのを静岡県がやっています。ここの場所は実はリサイクルした後、戻ってきた場所でもあるので、自然にできた場所とはちょっと違うかもしれないので同じには比較できないかなというふうに思っています。

推論でしかないんですけれども、こっちと混じっている場所というのは、後からあるいはバームみたいなものができて後からひょっとしたら打ち込まれたりしてなっているのかもしれません。これは今後よく調査しないとわからないですけども、そういうことが1点です。

それから管理という観点でという話でしたね。時

間がかかるというのはそのとおりでございまして、静岡清水海岸の対策検討委員会の中で出る話の1つとして、砂利採取をやめて供給されるようになったとプラスして離岸堤もつくったことによって浜が回復しているという面もある。離岸堤をとってあげればひょっとしたら自然の力で流れていくということがあると考えられるので、でも離岸堤の機能を下げるとかそういうことができるのかということは、いつも委員会の中でも議論になります。ただ、ご理解がというんですか、背後の方々がやはり下げてもいいというのはなかなか言っていないというふうに県の方からは聞いています。それは静岡清水海岸に限らず、遠州灘でもそうだと聞いています。離岸堤の機能を下げて流れるようにするというのをやろうと思っても、やはり1回怖い思いをした方々

は、なかなかいいよとは言っていないという現状がございます。

海岸側でできる努力としては、流れやすくするということがもしもできるようになっていけば、また一歩前進するとは思いますが、そのためには合意形成というのが1つの課題なのかなというふうに思っています。

それからと静岡清水海岸のほうでいくと、養浜するときに掘削土砂を運んでおくのは、費用の面で使える量に制限があって、そこが1つの壁ではあるのかなというふうに思っています。何かうまい、安く運べる手段があると本当はいいんでしょうけれども、そこがなくて最低限の量でやっているというのが現状です。

(了)

平成26年度

第4回 河川研究セミナー

総合土砂管理における環境評価の考え方

—特に土砂供給が水生生物に及ぼす影響について—

萱場祐一 氏（独立行政法人 土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員）

ダムにおける土砂供給（排砂）技術は どこまで進んでいるのか

櫻井寿之 氏（国土技術総合政策研究所 河川研究部大規模河川構造物研究室 主任研究官）

〈全体討論〉

総合土砂管理に明日はあるのか

開催日：平成26年8月27日（水）

場 所：フラクシア東京ステーション

総合土砂管理における環境評価の考え方

—特に土砂供給が水生生物に及ぼす影響について—

独立行政法人 土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員

萱場 祐一氏

萱場 どうもご紹介いただきましてありがとうございます。土木研究所の萱場と申します。私は共生センターから3年前に河川生態チームに来たんですけども、共生センターに移行後、ちょうど2005年ぐらいですか。ダムの下流の生物相がどう変化しているかということ調べてようと思ひまして、そのころから研究をしてまいりました。

ここ数年は今日話題になっております総合土砂管理の話。その前に土砂還元がずいぶん日本全国で行われていたということもあって、土砂還元を含む土砂供給が生物にどう影響を及ぼすかということをし研究しようということで、2年ぐらい土砂供給についての研究をしてまいりました。

今日は、その2つの研究を交えまして、この演題にありますように、土砂供給をした場合に水生生物がどんな変化をするのかということについて考察をしていきたいと思ひます。

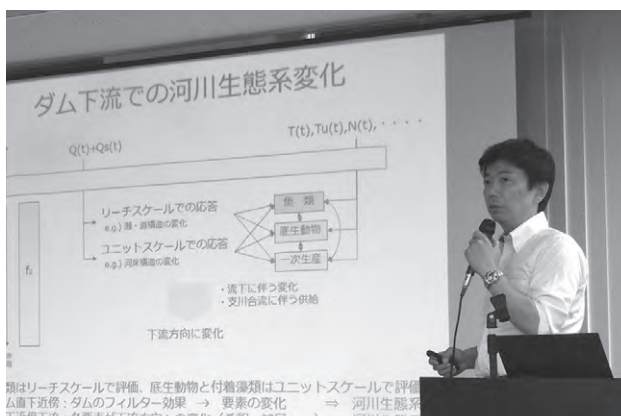
これはもう皆さんご存じかと思ひますが、今、矢作川で総合土砂管理として下流に土砂をバイパスさせるという計画をしています。やはり自然の流況とは違うタイミングで土砂が流れることによって、下

流の河床が相当砂だらけになってしまうことが懸念されます。そうしたときに、どこまで我々は砂を流すことを許容できるのかということを決めないといけないんです。話の中身としては、矢作川の場合、どれだけ砂を流したら生物が頑張れるかとか、どこまで流すと変化してしまうのだろうかということについて研究してきた中身などについてご紹介していきたいと思ひています。

繰り返しになってしまいますけれども、前段には、ダム下流における生物相の変化とその要因ということで、一般論としてダム下流の環境をどうとらえたらいいかということをもず紹介しまして、その次に、ダム直下及びその近傍、ダムの下流というのは、ダム直下、そして近傍から下流に行くに従って急激に環境が変化をしていきます。最初はダムによっていろんな要素が改変されて、下流の生物相が応答するわけですが、ダム直下もしくはその近傍を対象として、特に河床材料の変化が、3つの分類群、付着藻類、底生動物、そして魚類群集にどんな影響を及ぼすのかということについて考察を行っていきと思ひています。

あとは、土砂供給を行った際の評価方法ということで、最後に、まだ考えている最中なのでこなれていない部分がありますけれども、より広い空間を対象とした場合の評価方法ということをお話をしていきたいと思ひます。

では最初に、ダム下流に設ける生物相の変化とその要因について、お話を進めていきたいと思ひます。これはダムによる環境変化について海外の文献などからどんなことが言われているかということをも整理したものです。(スライド2)



ダムがあって、こちらがダムの上流と下流です。生物相にどんな影響を及ぼすかということなのですが、まず上流でプランクトンが生産されてこれが下流に流れていきます、と。当然上流から入ってきた落葉などの自然由来の有機物はここでストップしてしまうので、下流に対する餌の供給の仕方が変わります、ということです。

この上流閉鎖水域での魚類の生活史の変化というのは、下流には直接関係ないので、この部分だけ見ていきますと、落差出現による回遊魚の遡上効果障害とか下流への流量の変化、水温、水質、濁りとか土砂供給の変化、特に土砂供給の変化は河床を変化させて、間接的に生物に影響を与えるというようなことになります。

下流の生物相の変化というのは、土砂供給だけではなくて多要因によって変化しているということですから、土砂供給によって、例えばダムの環境、下流

の環境が改善されるかどうかということを知るためには、そもそも土砂供給の遮断によってどんなことが引き起こされているかということを、多要因の中から分離していくことが非常に大事になってきます。

これは少し概念的なもので見にくいんですけども、ダムがあって上流から入ってくるさまざまな要素があります。それがダムによって変化をして、ダム直下の環境が変わっていくことになります。このときにユニットスケールでの応答、ユニットというのは瀬とか淵とか、川の中に見られる1つの生息場所の単位で、もう少しこなれていうと、景観的に似通った領域、これをユニットと言っていますが、ユニットスケールでどういう応答を示すかという部分と、あとはもう少し移動範囲が広いようなものについては、リーチスケール、例えば瀬とか淵とか幾つものユニットの組み合わせで評価をしていかないといけないというふうになります。(スライド3)

一般的には一次生産と書いてありますけれども、付着藻類とかベントスについてはユニットスケールでどういう応答が起こるのかということを見ていきますし、魚類については瀬だけでなく淵も含めて、どんな応答が起きるのかということを見ていかなければならないというふうになります。

問題は、これはダム直下なんですけど、ダムのフィルター効果で要素が変化するわけです。だけどダムの流下方向に向かって改変されたいろんな要素というのが、また刻一刻変化をしていくということにな

● スライド1

本日の内容

- ダム下流における生物相の変化とその要因について
- ダム直下およびその近傍を対象として
 - ー粗粒化と付着藻類および底生動物群集、魚類群集との関係
 - ー土砂供給を行った際の評価方法
- より広い空間を対象とした場合の評価方法

● スライド2

ダムによる環境変化

貯水池内の生物群集構造の変化
(水野ほか1964, Zhong & Power 1996, Gehlke et al. 2002)

落差出現による回遊魚の遡上・降下障害
(Beames & Norcliffe 1989, 下田ほか1993, 中野ほか1995, 前川・高橋1997, Saitoh & Nakano 1999, 佐川ほか2004)

下流の流量、水温、水質、土砂供給の変化
(Hester et al. 1980, Mann & Ebersole 1991, Webb & Walling 1995).

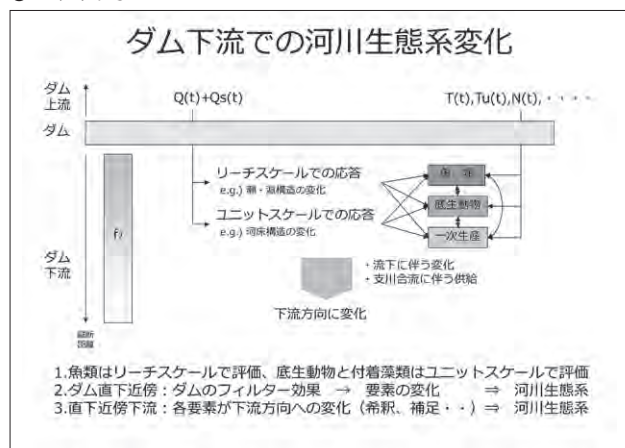
特に土砂供給量の減少は河床の粗粒化を誘発する
(Eskine 1985, Kondolf 1997)

**ダム湖出現によるプランクトンや底生生物の増殖、
下流生物量および有機物量の変化**
(Armitage 1976, 1977, Marchant & Hehir 2002).

上流閉鎖水域での魚類の生活史の変化や個体群の縮小や絶滅
(Pettigrew & Pettigrew 1980, Simon et al. 1992, Luch & Bouch 2000, Armitage & Hill 2001, Simon & Armitage 2002, Armitage & Pettigrew 2004).

これらの物理・物質的な変化は、ダム下流の生物群集構造を改変
(Stanford & Ward 1989, Zhong & Power 1996, Pardo et al. 1998)

● スライド3



ります。これは支川から水が入ることによって生じる希釈効果とか、河床の間隙に上流から入ってきたプランクトンが捕捉されてろ過されていく効果とかいろんな効果があります。要素がそれぞれ別のプロセスによって、f 2と書いていますけれども、下流方向に変化をしていくというふうになりますので、ダム直下で起こったことが下流方向に同じように推移していくというわけではなくて、その影響を受けた要素によって下流方向に生物相の応答の変化というものも変わってくるということになります。(スライド4)

あとは時間的な変化です。例えば土砂だけを考えてみても、ウォッシュロードとか浮遊砂成分というのは下流方向への流下スピードが非常に速いです。これは縦断距離、縦軸に指標の値をとったものです。これがもともとの指標の値で、下の実線が非常に安定したような状態、最終形だと思っていただいて結構です。それに対して非常に素早く反応してしまっているもの。それから例えば礫は移動スピードが遅いのですから、遠い将来に起こるような変化に対してダムの竣工年度からの経過年数がまだ短ければ、それがまだ下流には十分伝搬し切れていないというようなことになります。ですので下流方向の変化というのは、その要素の下流方向への伝搬速度によって、現状影響を受けているかどうかということが変わってくるということかと思っています。

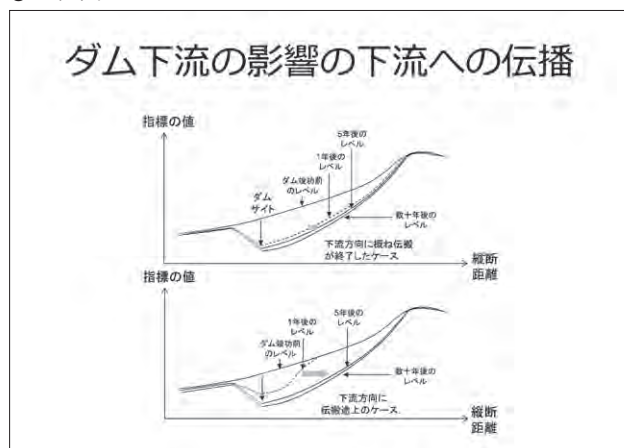
今日は付着藻類と底生動物、魚類を対象にしてお

話をしていきます。若干繰り返しになりますけれども、ダムが流況、土砂供給に影響を及ぼすというだけでなく濁り、水質、水温、餌資源、このような多要因に対して影響を及ぼすということになります。流況、土砂については地形と底質を変えるということを紹介する経路もありますので、そうした経路も含めて、付着藻類に対する影響を見ていかなければならないということになります。さらにその上位に位置する生物分類群については、付着藻類を餌にする場合と、底生動物を餌にする場合がありますから、この間の生物間の相互作用というものを見ていかなければならないし、逆に餌になったほうも、魚がいるかないかによって、このトップダウン効果によって、付着藻類の繁茂がより進むというようなプロセスもあります。(スライド5)

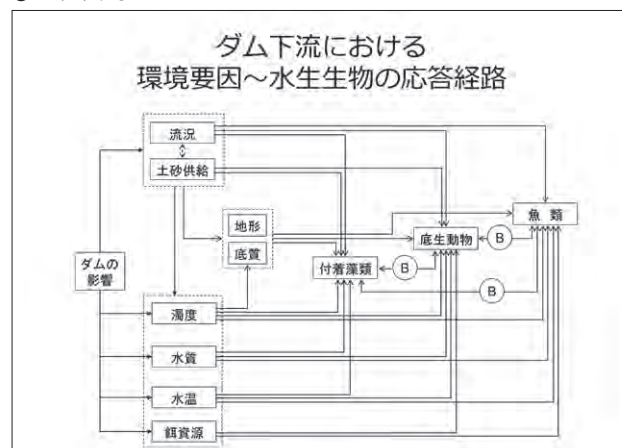
例えばダムの影響でアユが住めなくなった環境になってくると、アユは付着藻類をよくはみますので、このはむ量が減ることによって付着藻類が逆に現存量が増していくというような生物相互関係もあります。非常に多要因でかつ生物相互関係があるので、土砂供給の影響、これが遮断されるとかこれが増加するというだけを取り上げてどんな応答をするかということを見ようとすると、相当難しい話になってくるだろうなというのは、この図を見ただけでおわかりいただけるかなと思います。

では、具体的にダムの直下、その近傍を対象として、土砂供給が減少することによって粗粒化が起きます。

● スライド4



● スライド5



その粗粒化が3つの分類分に対してどんな影響を及ぼしているかということについて少し研究ベースでご紹介をしていきたいと思います。

まず付着藻類ですけれども、ダムの下流でどんなことが起きているかということはある程度皆さんの中で共通認識ができていないだろうかと思います。よく言われているのは、付着藻類を含む付着物が多くなってしまって、具体的に言うとクロロフィルaが多くなったり、それから有機物量が多くなるといったことが起きます。あとは濁りが高いダムになってくると、シルトが堆積して無機物量が増加するといったことが起きます。

こういう光景は、皆さん、ダム下流でよく起きているというように認識されているかと思います。ただ、どこのダムでどの程度起きているかというデータは意外となくて、何となくこんな感じじゃないかなという印象程度にとどまっています。全部のダムではないと思うんですけれども、認識の共有の仕方としては、こういう問題が起こっているということではないかと思います。(スライド6)

このような2つの事例が載っていますけれども、現象が起きたときに、具体的にどんな悪さが川の中で起きるかということを整理すると、まず付着藻類ですからベントスとか魚の餌に使われるわけです。なので餌資源の質が悪化するということがあります。特によく言われているのは、アユの餌資源で無機物量が増大していくと、餌資源の質が悪化すると

いうことでして、強熱減量でいうと40%下回ってくると餌資源の質が悪化するということが言われています。

あと景観の悪化とか親水活動への影響といったこともあって、こういったことが付着藻類が変化することによる、具体的な生態系サービスの低下というような側面かなというふうに思います。

既往研究で見ると、付着藻類の質がどの程度悪化するとさっきのような問題が起きるかということがある程度わかっています。これはニュージーランドとか幾つかの国で示されている親水活動、景観に関する閾値的な値になっています。詳しくはご紹介しませんが後から出てくるものとして、このクロロフィルaを指標にして、バイオマスが増え過ぎてしまうとレクリエーションに不適な環境になってしまうとか、「きれいと感じる河床付着物の目安」というのが出されていてこれが30mg/m²とかこういった指標がある程度出ています。大体30~100mg/m²ぐらいの値が1つの基準として示されているということ覚えていただけるといいかなと思います。(スライド7)

では付着藻類に対して、土砂が遮断されて粗粒化することの影響をどのように評価するかということなんですが、評価の方法はいろいろあると思います。例えば、現場で生物をとってそれに関連する環境要因をとります。それを環境への説明変数にしてモデルを組んで、どの変量が一番効いているかというのを見る方法

● スライド6

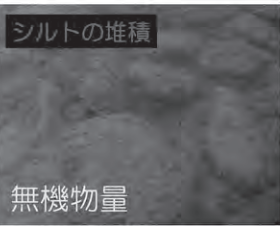
付着藻類への影響

- 餌資源の質の悪化
- 景観の悪化
- 親水活動への影響



付着物の著しい増加

chl.a 有機物量



シルトの堆積

無機物量

● スライド7

既往研究に見る河床付着物の許容値			
目的等	項目	値	文献
親水・リク利用基準 (H2環境省が河川に推奨)	糸状藻類 (カバー率)	<40%	Zurr (1992)
	chl.a	<100mg/m ²	
	AFDM	<40g/m ²	
親水・レクの許容値	chl.a	<50mg/m ²	Nordin (1985)
水生生物の許容値	chl.a	<100mg/m ²	
きれいと感じる河床 付着物の目安	乾燥重量	<15g/m ²	平山 (1994)
	AFDM	<5g/m ²	
	chl.a	<30mg/m ²	

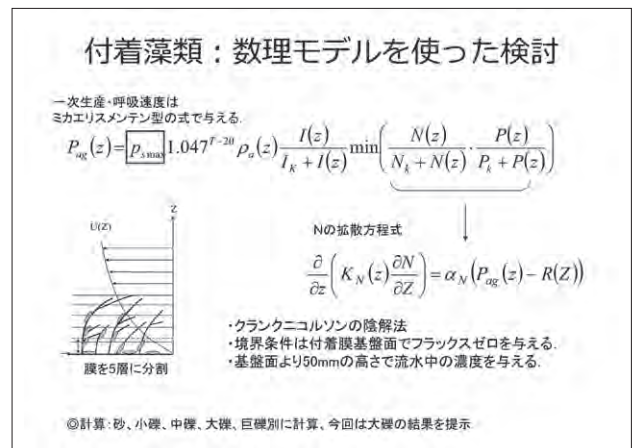
というふうになります。

純生産については光と栄養塩、水温が資源になっているわけですが、濁りが高いと河床に届く光の量が減っていくということになりますので、例えばダムによって濁りが増大すると純生産が落ちてしまうような現象が起きてくるということになります。

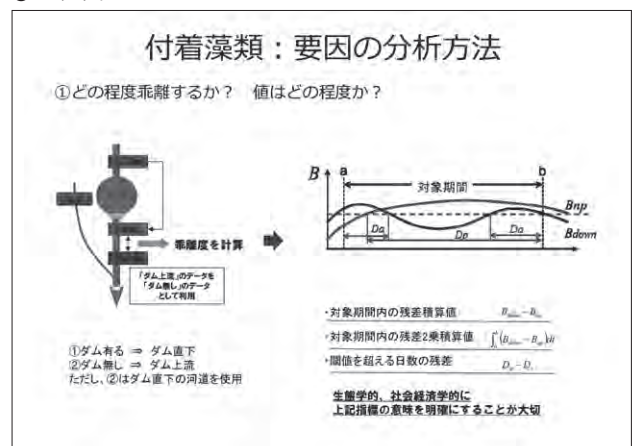
摂食生物については、物理環境のシミュレーションでよくやられているように、流速と水深と川底の材料によって、例えばアユの生息密度は変わってきますから、これで摂食の効果を入れることができるというふうになります。

剥離については2つあって、流れ、流速が増大することによる剥離と、掃流砂が流れることによる剥離という、こういった効果があります。こういった効果を全部入れてモデルを組むといいんですけども、摂食については非常に難しいです。なぜかというと潜在的にアユの生息環境だとしても、実際には

● スライド10



● スライド11



そこまでアユが到達できない場合などがありますから、これを入れると非常に不確実なモデルになってしまうので、とりあえず摂食だけ除いて、純生産と剥離からバイオマスが決まるというモデルでどんなことが起きるかというのを見てみることにしました。

これ（スライド8～11）は専門的なのでちょっと省きますけれども、こんな式でやりましたというだけのことです。生産をどのように評価するかという事でやったものです。

どうやって土砂供給が遮断されたことの影響を評価するかということですが、これは小さくて恐縮なんですけれども、ここにダム湖があります。まずやったのがダムがある場合の付着藻類の応答というのを、ダム直下でとったデータをもとにしてモデルを回して計算しました。ダムのない場合も一緒に計算をしようと。だけどダムのない場合というのは、そのときのデータはないものですから、とりあえずダムのない場合というのは、ダムの上流のデータを使って代替してその差を見てみましょう。要するにダムによっていろんな要素が改変されるわけなんですけれども、その改変された要素を全部取り込んでモデルを回して、ダムの下流で付着藻類のバイオマスがどう変化するかというのを見ましょう。その現存量とダムの上流、これはダムなしになりますけれども、その差を見てみましょうということです。（スライド11）

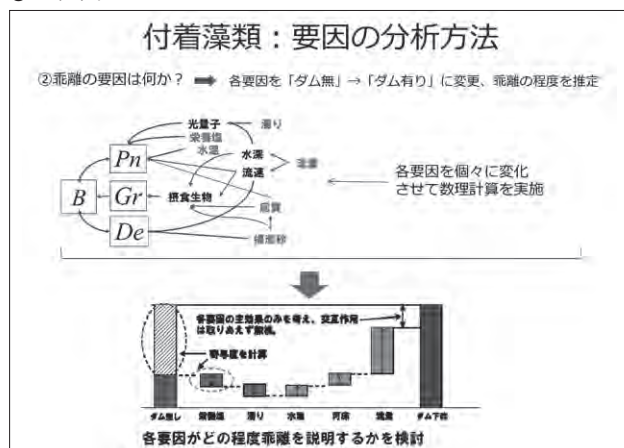
対象期間と書いてあって横軸が時間になっていま

す。これは概念図です。例えば一方がダムなしでもう一方がダムありというふうにすると、当然ダムがあった場合とダムがない場合とでは乖離していくということになります。問題はこの乖離が一体何から生じているかということを探さないといけないので、どうやっていくかということです。モデルの中の特にダムの影響によって改変される要素、濁り、栄養塩、それから水温、流量、上流から供給される土砂の変化、そしてそれによって変化する川底の材料。こういったものを個々にダムがある状態からない状態、ない状態からある状態というように変化させることによって、どの程度ダムの有るなしの現存量の乖離を埋めることができるかを見ていこうということにしました。（スライド12）

概念図で恐縮ですけれども、これは左がダムなし（ダム上流）で、右がダムの下流ということです。ある時期の現存量を見るとこれだけ乖離していますということです。そのときにダムなしの環境要因からダムありの環境要因に一個ずつ変えていったときに、この差を一番埋めている要因というのが出てきます。そうすると、これでいうと流量というのが概念的にこの差を一番埋めているわけです。この段階でいうと、流量がダムの下流の変化というものを説明する要因として、一番強く寄与しているだろうというふうに考えていいかなと思っています。

ただ、これは主効果といって1つの単独の効果です。実際には例えば流量と河床、これは土砂の話で

● スライド12



● スライド13

付着藻類：要因の分析方法

	流量	水温	濁度	窒素	リン	河床粒径分布
ケース1	下	下	下	下	下	下
ケース2	上	上	上	上	上	上
ケース3	下	上	上	上	上	上
ケース4	上	下	上	上	上	上
ケース5	上	上	下	上	上	上
ケース6	上	上	上	下	下	上
ケース7	上	上	上	上	上	下

すけれども、土砂の掛け合わせとか3つ掛け合わせの場合とか、掛け合わせの幾つかの組み合わせによって当然また効果が出てきます。これは交互作用というものだと思っていいと思います。そういったものもありますが、とりあえずここは主効果だけを対象にして、どんなことが起きるかというのを見てみました。(スライド13)

これは要因の分析の方法でケース1～7までありますけれども、ケース1が全部下流です。これで計算をしました。ケース2というのが全部上流で計算をしましたというものです。全部上流で計算したもののから、ケース3からケース7においては、流量から河床粒径分布にわたって一つずつ下流の環境を代入して行って、どのような差が起きるかということについて見ていきました。

実際に御所ダムと七ヶ宿ダムと小渋ダムという3つのダムをやって、計算をしたということです。(ス

ライド14、15)

これが御所、七ヶ宿、小渋ですけれども、黒い線の縦軸が現存量で横軸が時間になっています。1年間計算をしました。この計算には相当時間がかかるんです。付着藻類の薄い層を5層に切ってその中で栄養塩の供給とか全部計算しているの、相当時間がかかっちゃうんですけれども、とりあえず1年間計算してどの時期に乖離が生じるかというのを見てみたものです。濃い線のほうがダムの下流で、薄い線が上流となっています。

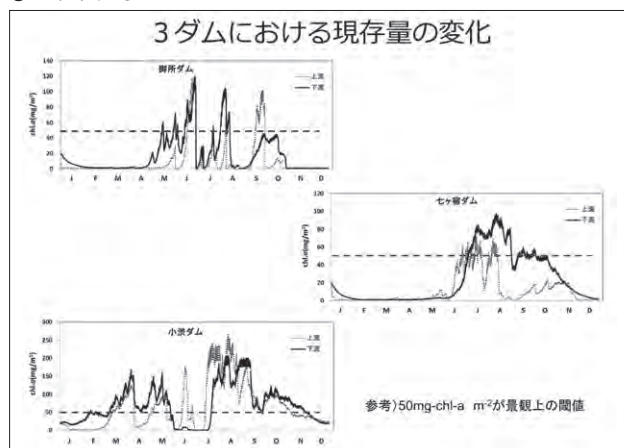
この破線は何かという、さっきご紹介した景観とかレクリエーションの観点からどの程度の値になると問題が生じるかという整理がされているので、とりあえずそれをベースにして50mg/m²という値を設定し、これを上回るかどうかということをもひとつ目安として書いてみました。

これを見ていただくと、上流に対して下流が高い

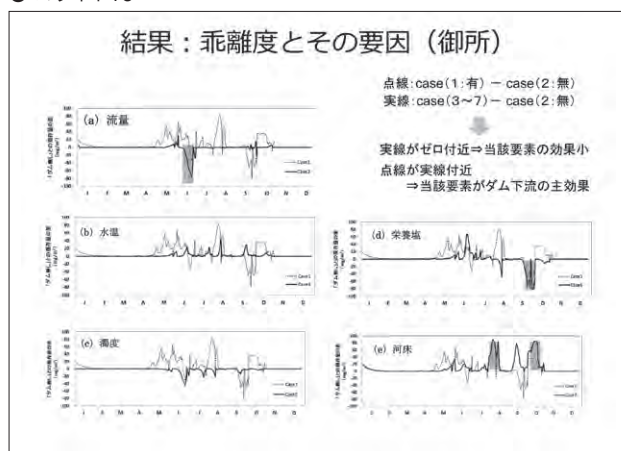
● スライド14



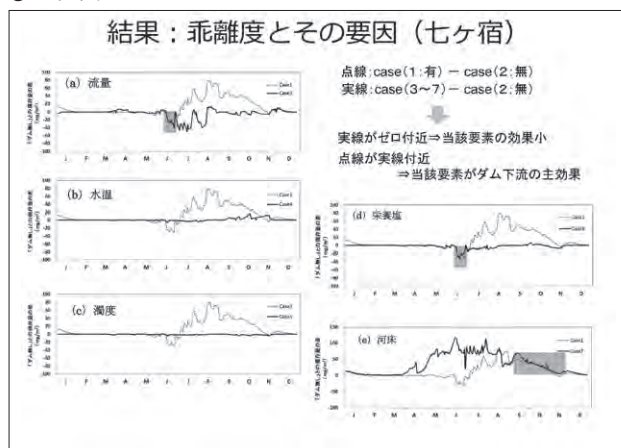
● スライド15



● スライド16



● スライド17



というのは全ての時期で起こるわけではなくて、御所ダムですと春先とか晩秋、そのあたりに起こる。七ヶ宿ダムについては7月から11月ぐらいまで非常に高い値で推移する。小渋ダムの場合にはそれほど差が出ない、といったように、ダムによってそもそもバイオマスの変化というものがパターンとして相当違うということがわかります。

次に、ちょっとここは難しいのでよく聞いていただきたいんですけども、その差をどの要因が埋めているかということを検討した結果を示しています。(スライド16、17、18) 見にくい方はペーパーをご覧ください。点線というのがケース1からケース2を引いたものです。要するにダムがある場合の現存量からダムがない場合の現存量を引いたものです。これが点線になっています。点線が上に出ているということは、ダムの下流のほうがバイオマスが高かったというふうになります。(a) から (e) で流量、水温、濁度、栄養塩、河床、これは掃流砂が入っていますけれども、これをそれぞれ単独で変えた場合に起こった現象というのがこの実線になっています。

この点線に対して実線が相当マッチしていると、その要素がその期間その差を埋める。要するにその要因が寄与しているということになるわけですが、マッチしていないとそれはあまり効いていないということになります。見ていただくと、ちょっと薄く塗ってありますけれども、塗ってあるところが、何かマッチしている要素があったなというところ

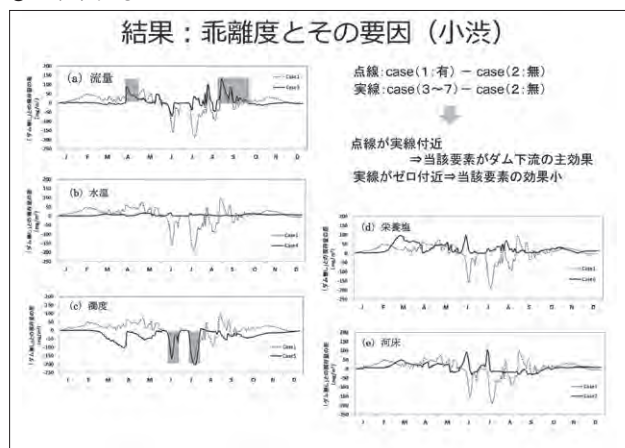
です。

そうすると、御所ダム（スライド16）のケースでいうと、流量がこの時期効いていたりとか、栄養塩がこの時期効いていたりとか、河床材料、掃流砂関係、土砂供給関係というのは、7月の1カ月とか9の1月。このあたりに若干効いているかなというふうになっています。ですからよく土砂還元とかフラッシュ放流とかいろいろやるわけですが、実際に下流で起きている現象がどの要因によって引き起こされているかということを考えると、どうも季節的に同じ要因がいつも寄与しているというわけではなくて、季節によってももしかしたら違うかもしれないということがこの結果からわかります。

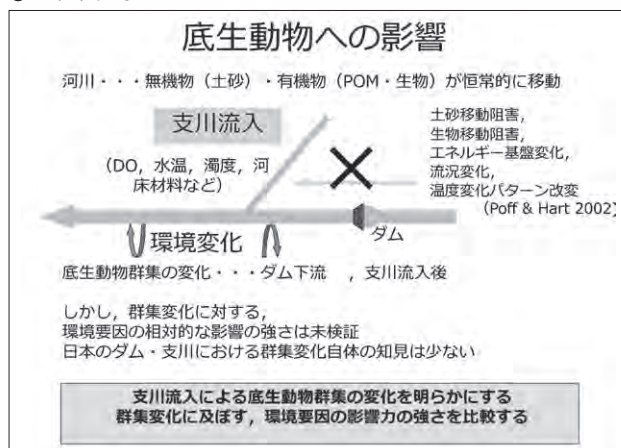
ただ、そうはいっても御所ダムの場合は、例えば1年の2カ月近くの間が土砂供給が遮断されることによって影響を受けている期間もありますので、ほかの要因に比べると相対的に土砂供給は効いている要因と考えていいのかなというふうに思います。七ヶ宿も同じで流量と栄養塩と河床という土砂供給の3つが選択されています。七ヶ宿（スライド17）も御所ダムも下流のほうがバイオマスが高い時期があるというふうに話しましたが、その高い時期の特に秋のあたり、その部分についてはやはり粗粒化とか土砂供給が減少することによって、影響を受けているということがあるんだろうということです。

小渋（スライド18）についてはそれが出なくて、どちらかというと流量とか濁りのほうが効いてい

● スライド18



● スライド19



る。ダムによって何が効くかということは相当違いそうだとことがわかりました。

次に、底生動物の話に移りたいと思います。底生動物はどういう調査をしたかという、支川合流の効果というのを確かめたくて調査を開始しました。具体的にはダムの下流でずっと下流方向に見ていくと、ダム直下は確かに相当生物相は違うんですけども、支川が1本入ると改善されていくような効果が、予備的な調査から相当わかりました。じゃ本当にそれがどうなのかというのをちゃんと解析しようと思って、データを取りました。(スライド19)

繰り返しになりますが、ダムでいろんな要素が改変されるわけですが、支川から水が入ってくる、もしくは土砂が入ってくる、いろんな有機物が入ってくることによって、環境がまたここで変化するという事です。それを検証するというのが目的で、具体的な環境要因としては流量、水深、流速、河床材料、濁度、掃流砂です。それから化学環境として水温、DO、電気伝導度、それから餌資源としてプランクトンとか付着藻類、堆積している有機物、懸濁している、流れている有機物といったものをとったということです。(スライド20)

これは阿木川ダムを対象にして検討いたしました。阿木川ダムはたしか昭和58年、流域面積は81.8km²あるんですが、その下流に飯沼川という支川が入ってきています。これが23.9km²なので、大体、流域面積的には、3分の1～4分の1くらいの流域

面積の支川が、比較的下流直下に入ってくるというふうになっています。(スライド21)

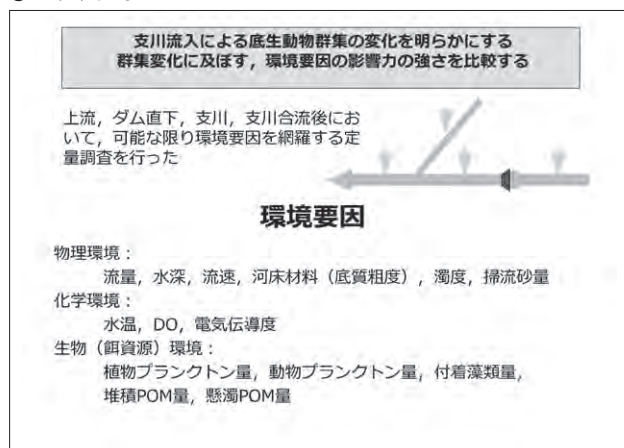
どんな調査をしたかという、これが阿木川の貯水池になります。UDというのは上流、DDはダム直下、TRは支川でDCは支川で合流した後というふうになっています。川筋が見えにくいのでこの4つの調査エリアがあるということだけ覚えておいていただけるといいと思います。それぞれの調査サイトで4つの調査地区、調査箇所を設けて、統計的に検証がしやすいように、調査デザインを設定したということです。(スライド22)

当然各箇所、これは瀬に該当しています。瀬のベントスをとって、かつさっき申し上げたような環境要因を全部調査して環境解析をすることによって、どの要因が強く効いているか、それからそもそもダムの上流と下流で、ベントスがどの程度群集として違いがあるのかといったことについても見ています。

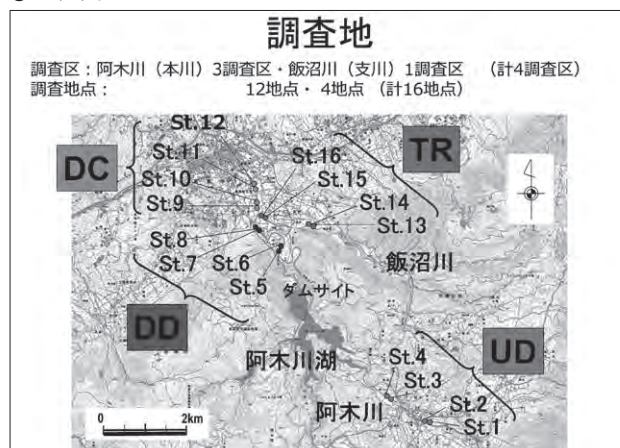
● スライド21



● スライド20



● スライド22



雰囲気かわからないと思うので写真をつけました。阿木川ダムは、風化花崗岩の流域になっていますので、上流から真砂が相当出てくる川です。ダムの上流は、上から見るとわからないんですが、水中で撮影をすると相当砂に埋没しているような河床になっている。これは静止画だからわからないんですが、実際に現場に行ってみると平常時でも砂が頻繁に移動しているような川です。だから見た感じはすごくきれいです。砂があることによって常にものが削れていく環境ですから、有機物が非常に少なく、水遊びをするんだったらこういう川のほうがいいなという感じは受けます。

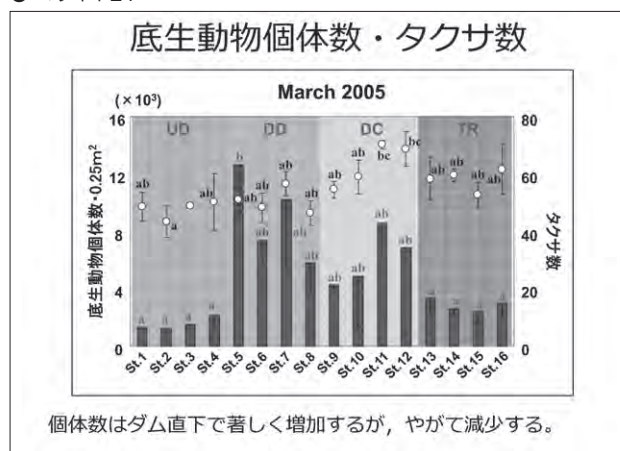
一方、こっちはダムの下流ですけれどもこういう感じです。阿木川ダムはさっきの検討をしていないので、これが土砂のせいなのか栄養塩のせいなのかということはちゃんと分析していないんですが、非常にいろんなものが堆積して汚く見えるというような環境になっています。(スライド23)

まず底生動物の個体数とタクサ数といって、種数みたいなものがどれだけあるか見てみたものです。これが上流 (UD) です。(スライド24) これがダムの直下 (DD)、これが支川合流後 (DC) で、これが支川 (TR) となっています。やはり砂が多いダムの上流 (UD)、それから支川 (TR) の飯沼川では、底生動物の総個体数というのは、相当低く押さえられているということです。一方ダムの直下 (DD) は、すごくバイオマスが大きいんです。これはよく言わ

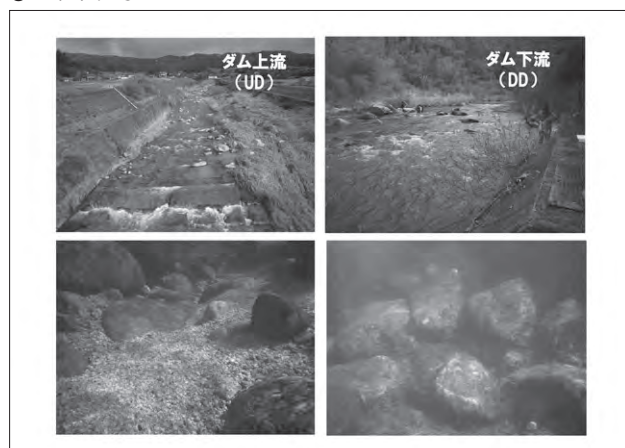
れていることで、ダムの直下 (DD) は比較的少ないメンバーのバイオマスが、が一んと上がると。その結果として多様性がが一んと下がります。実際にタクサ数、種数を見ると、バイオマス、ダムの直下 (DD) で多いんですけども、種数的にはあまり変わらないというふうになっているので、多様性が非常に大きく低下しているということがわかります。

一方、支川合流後 (DC) を見ると、バイオマスが下がってきているというのがわかります。ダムの直下 (DD) と支川合流後 (DC) はそんなに距離はないんですけども、支川 (TR) が合流することによって相当バイオマスの上昇が押さえられているということと、タクサ数が今度また増加しているというふうになっています。多様性指数をとると、たしか支川合流後 (DC) という支川合流後が一番高く、一番低いのがダムの直下 (DD) と上流 (UD) というふうになっています。

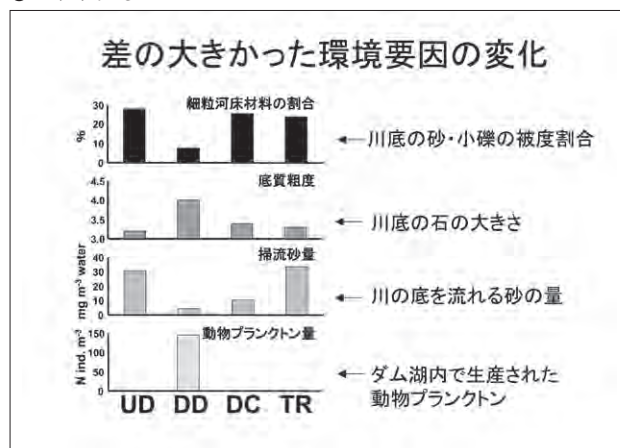
● スライド24



● スライド23



● スライド25



ですからダムができて多様性が上がるとか下がるとかといっても、実際阿木川みたいに自然攪乱が非常に高いところというのは、そもそも種数も少ないし、バイオマスも少ないし、多様性も低いということも結構あるわけですから、人為的影響を受けたから多様性が高くなるというわけではないわけです。

今のは生物のほうですけれども、差の大きかった環境要因の変化を見てみると、大きくこの程度の要因が挙げられました。これは一般の人に説明するために非常に平易に書いています。(スライド25)

まず川底の砂・小礫の被度割合。被度というのはコドラートを使って、面的にどの程度の砂・小礫が覆っているかということのをあらわしたものです。ダムの直下は大体10%未満ですけれども、ほかのところは30%ぐらいになっています。

そうするとダムの直下 (DD) は低いんですけれども、支川 (TR) が合流してダムの支川合流後 (DC) になってくると砂・小礫の割合は相当回復してきているということがわかります。これは反対の見方ですけれども、中礫とか大礫がどれだけあるかということについては、逆のパターンを示すわけです。

その次が川の底を流れる砂の量。これは平常時でも砂が流れているので、その砂の量をとったものです。そうすると、ダムの上流 (UD) と支川 (TR) が多くて、それ以外は非常に小さいという結果になりました。

動物プランクトンは、ダムの直下 (DD) だけ多

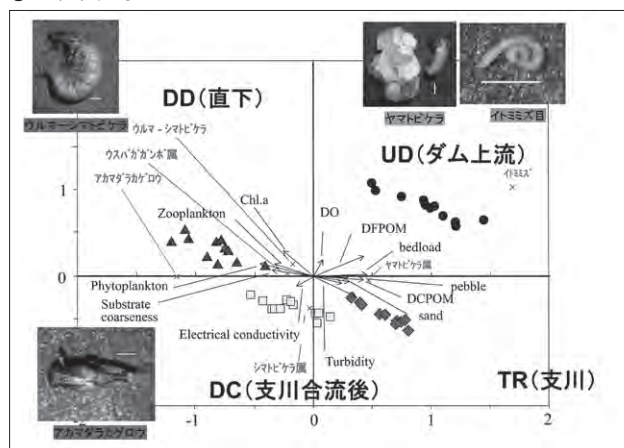
くて、支川が合流した後の下流の部分 (DC) では、ほとんどゼロになっているということです。短い区間で相当環境要因が変化しているということがわかるのと、あとは今日は土砂という話で注目していただきたいのは、ダムの直下 (DD)、これは、阿木川だけかどうかはわかりませんが、ダムの直下 (DD) はたしかに砂被度、小礫の被度は減少しますけれども、支川が合流するとがんと回復しているということなので、この視点で見たときには土砂供給の影響というのは本当に直下だけで、3分の1から4分の1ぐらいのある程度の供給土砂量を持っている支川が入ってくると、相当程度回復しているんだということが、この結果からわかります。

あと、群集の中身を見てみるとおもしろいんですけれども、これは群集の位置をプロットして、それに対して代表的な種のプロット、それから関係するベクトル、物理環境のベクトルがどういう方向に向いているかということを1枚の2元的な図面の中に整理をしたものです。CCAといわれる解析方法です。(スライド26)

各地点の群集を見ると、直下 (DD) というのは三角でここにプロットされていて、支川 (TR)、ダムの上流 (UD) というのは、ここに位置しています。(丸・ひし形)

ダムの支川合流後 (DC) というのは、ここに位置しています (四角)。ですから砂が多い環境は右側に配置されていて、そこにダムの上流 (UD) はここです。支川 (TR) があって、支川 (TR) がダムの直下 (DD) に入ることによって群集そのものが相当支川 (TR) とダムの直下 (DD) の間にこういうふうに移動してきているということがわかります。ですから支川合流することによって砂が供給されたりとか、いろんな効果があるんですが、そのために群集の組成そのものが、かなり支川 (TR) に近ようになります。種数とかバイオマスが変化するというだけでなく、その中身です。どんな種から構成されているかということについても、相当支川

● スライド26



(TR) の効果によってこちらのほうに引っ張ってこられているということがわかるわけです。

あと、代表的な種が書いてありますけれども、支川とかダムの上流というのは、ヤマトビケラとかイトミミズといったものが代表的な種になります。イトミミズは掘潜型といって砂に潜るタイプです。ヤマトビケラというのは、巣をしょって歩く携巢型というタイプのトビケラです。この種は巢材に小さい砂、小礫を使います。ですから、ダムの直下で砂とか小礫がなくなってくると、巢材がなくなってしまうことによって、ヤマトビケラがいなくなるということが言われています。

ダムの下流のほうは何が特徴的な種かという、シマトビケラとかアカマダラカゲロウといったものです。これは下流の礫が露出して造網型の巣が作りやすかったりとか、餌で動物プランクトンが供給されるので、そういったものを餌にして非常に成長

しやすい環境だったということが要因ではないかなと思っています。

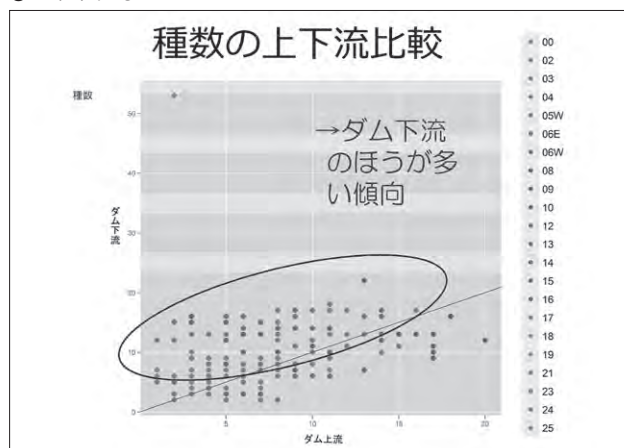
ですからこの2つについては土砂の影響、上流、支川で増えていたし、逆にダムの下流では、土砂が少なくなることによってこういった種群が大分減ったのではないかなということが考えられます。こういったものについては、餌資源の供給が変化することによって応答したのではないかと考えられていて、考察レベルですけども、そんなことが言えるかなと考えています。

次に魚類です。付着藻類と底生動物については何となく河床材料の変化が効いていそうだなということがわかりましたが、じゃ魚類は一体どうなんだろうかということです。魚類については広域データ解析を行いました。これは河川水辺の国勢調査の4ヵ年分の魚類群集の在・不在データを使って整理をしました。92ダムを対象にして、上流と下流でそもそも魚類相に違いがあるのかどうかというのを見ていったわけです。非常に単純な結果しかお見せしません。横軸がダムの上流の種数で、縦軸がダムの下流の種数になっています。同じところに同じ地点のプロットが来ているわけです。ダムの下流のほうで種数が多い傾向になっています。ですから何かダムの下流で欠損するような種がたくさんいるかという、全然そんなことはなくて、意外にもダムの影響が非常に検出しにくいというような結果になりました。(スライド27、28)

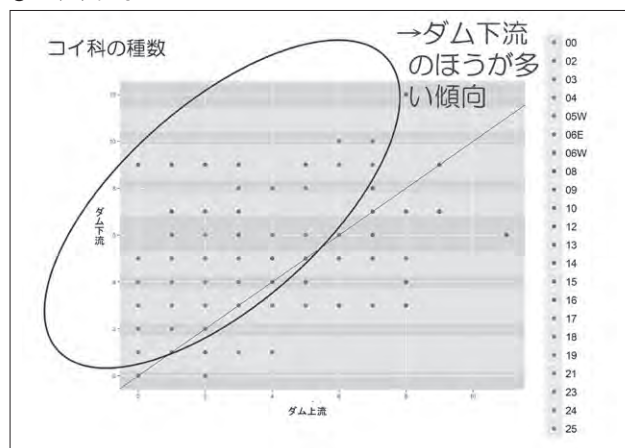
● スライド27



● スライド28



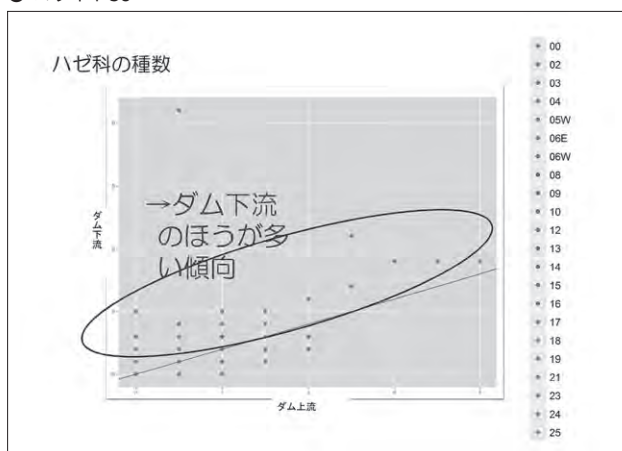
● スライド29



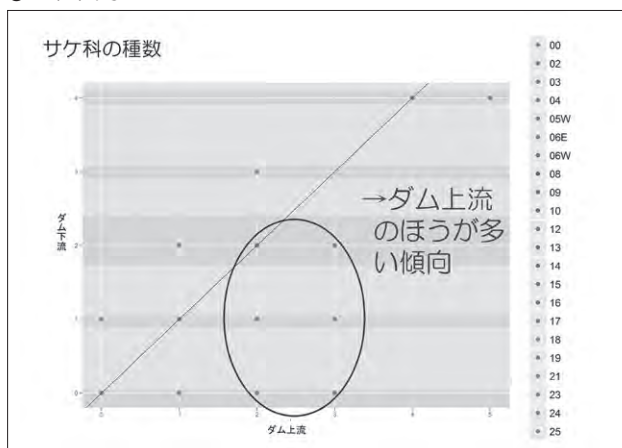
若干傾向があったものとしては、コイ科の魚類がさらにダムの下流で多かったということと、ハゼ科の種類、これはヨシノボリだと思いますが、ダムの下流で多かったということと、それからサケ科の種数がダムの上流のほうが多かったという傾向のみが見られて、ほかの影響は検出されなかったということです。(スライド29、30、31)

これはそもそもダムの上流と下流を比較するということは、ほかの条件が全部一緒ではないんです。特に集水面積が上流のほうが小さくて、しかも河床勾配が大きい可能性があります。しかも標高が高い。下流のほうは逆に流域面積は大きくなっていて、流量的には緩勾配になって水温も上がっている可能性が高いということです。下流のほうが、例えば流域面積が増えると種数が増えるというのは一般的に言われていることなので、こういう傾向を描くということは、別に不思議でも何でもないかなと思います。

● スライド30



● スライド31

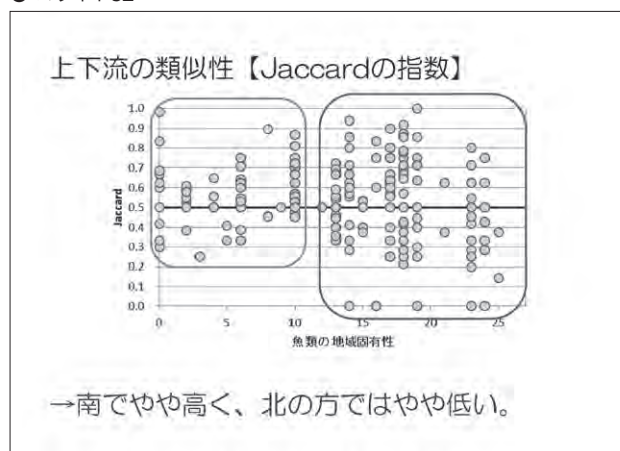


もしもダムの影響で下流の魚類相がどう変わったかということを見ようと思うと、そういった影響を全部除去して、その結果としてどういう変化が抽出されるかというところを見ていかないといけないと思います。(スライド32)

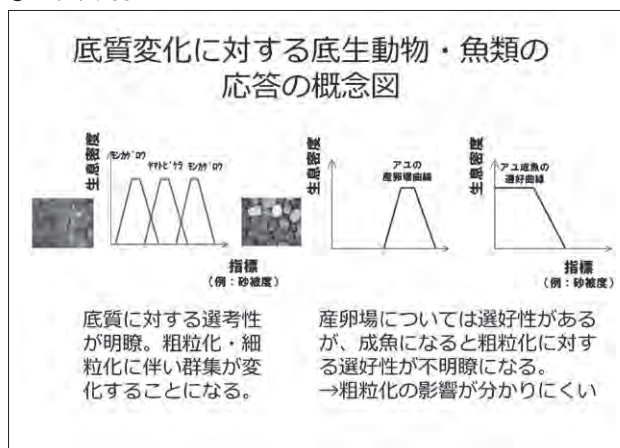
ですので、ベントスと付着藻類は変化があります。しかも土砂供給の遮断がどう効いているかということが何となくわかるんですが、魚類については、そもそも変化があるかどうかがよくわからないというところがあって、その先にまだ進めていないという状態です。(スライド33)

これは少しその解説的なところですが。横軸に砂とか礫とかの材料の大きさをとったときに、縦軸に生息密度をとって左側がベントス、右側が魚類としたときに、どんな環境を選好するかということを概念的に書いたものです。ベントスはやはり横軸に底質の大きさみたいなものをとったときには、その大き

● スライド32



● スライド33



さに相当選好性がある、細かいものが好きなもの、大きいものが好き、そういう選好性で相当それぞれの種を分けることができます。

ところが魚の場合でいうと、産卵環境については非常に狭い選好性があるんですけども、成魚になってくると、粗粒化に対してあまり忌避するということがないんです。だから粗くなったとしても、それを嫌がるというようなタイプの魚はあまりないというのが、我々の一致した見解です。そうすると下流の河床が粗粒化しても産卵はできないけれども、成魚になってくるといわれます。しかも魚は遡上していきますので行き止まり効果で、そこに溜まってしまいうということも出てくるものですから、魚の場合、粗粒化の影響がなかなかわかりにくいということがあるかと思っています。これが魚がわからない1つのからくりなのではないかと考えています。

ここまでのまとめです。さっき申し上げたように、付着藻類とベントス、底生動物については、差異が確認されて土砂供給量の減少が寄与しているということなので、土砂供給することによって改善されるということは、相当程度期待していいのではないかなというふうに思います。ただ、ベントスの場合で見ると、ダムの直下だけ相当変わっていますけれども、支川が交流すると相当程度回復しているので、そこにさらに土砂を流したときにどんな応答が起きるのかということは、慎重に考えないといけないということです。

魚の場合、上下流で差異が確認できないという問題がある。そうすると土砂が欠乏することの問題というのはちょっとよくまだわからない。そういう中で土砂を流したときに何が起きるか予測しないといけないという話なので、若干魚のほうで難易度が高いというふうに思っています。

そんなことをベースにしながら、今度土砂供給を行った際にどういう評価をしたらいいかという話をしていきたいと思っています。土砂供給をした場合、まず大事なのが魚の場合でいうと地形が変化することと、河床の表層が変化するというこの2つの応答パターンが物理的にはあるだろうなと思っています。それが供給量が増大するに伴って、どんな順番で何が起きていくのかという頭の体操を少ししていく必要があるかと思っています、その頭の体操をした結果をお話したいと思っています。

その次にこれはスキームになりますけれども、付着藻類とベントスと魚類をどのように予測し評価をしていったらいいのかということについて、お話をしていきます。ただこれは非常に狭い範囲、例えばこの会場ぐらいの範囲を対象にして、土砂が流れて地形が変わったり、川底の材料が変わったりしたときにどんな応答が起きるかということで、それイコール、この範囲で影響を受けたからといって、水系全体でその種がいなくなってしまうというわけではありませんから、そこは2つ区切って整理をしていく必要があります。(スライド34)

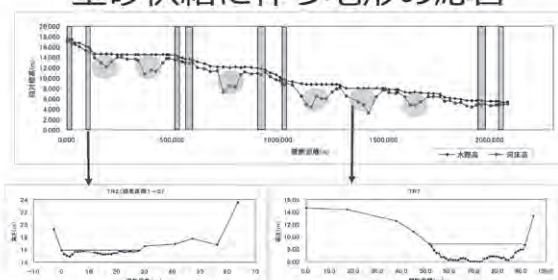
● スライド34

土砂供給に対する応答

- 供給量が増大→地形や河床の応答パターン
 - － 淵の埋没
 - － 瀬の表層材料の変化
- 付着藻類の応答
- 底生動物群集の応答
- 魚類の応答

● スライド35

土砂供給に伴う地形の応答



瀬における横断面形状
Q-Qsカーブの設定によるが、供給土砂が増大すると淵(トロ)→平瀬→早瀬の順番に堆積するのでは？

最初に土砂供給を行った場合、どんな応答が起きるかというところです。これは皆さんにお渡しした図面から若干変わっているかもしれませんが。これは右で逆ですけども、矢作ダムの下流で縦断測量をした結果です。矢作ダムはここに明智川という川が入ってきているんですけども、瀬の部分は大きい礫があって床止めの河床になっています。なのでここはあまり下がっておりませんでした。こういう部分です。(スライド35)

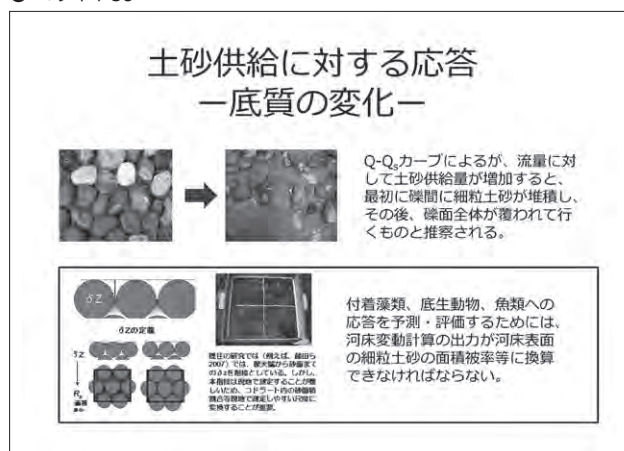
ところが通常だったらその下流にある平瀬みたいなところ、瀬とか淵みたいなのところというのは材料が小さいですから、上流からの土砂供給が遮断されると、そこがどんどん下がっていくということが起こっています。これで4mぐらい、結構下がっています。そこで調査をした図面です。

こういったところに土砂を流していくとどういう反応が起きるかということです。たぶん最初にこう

いう瀬とか淵みたいなのところに土砂が蓄積されて、河床がだんだん上がっていく応答を示すのではないだろうか。さらに増やしていくとどうなるかという、河床的には相対的に高いところの瀬の部分にも土砂が溜まり出して、最終的には全体的な砂被度が上昇していくという過程を踏むのではないかと考えています。(スライド36)

瀬の部分については、河川環境でやった実験です。瀬の材料があったときにだんだん砂を流していくと淵が埋没するとともに、瀬の環境についてはそこに砂がだんだん充填されていって頭が見えなくなっていくような応答が起きる。ですから淵は地形的な変化、瀬のほうは地形的な変化というのはすぐに起きないんですけども、最初の段階では砂がだんだん礫間に入っていく、最終的には礫が全部埋没して、砂被度が100%に近い値になっていくような応答が起きるのではないかと考えています。(スライド37)

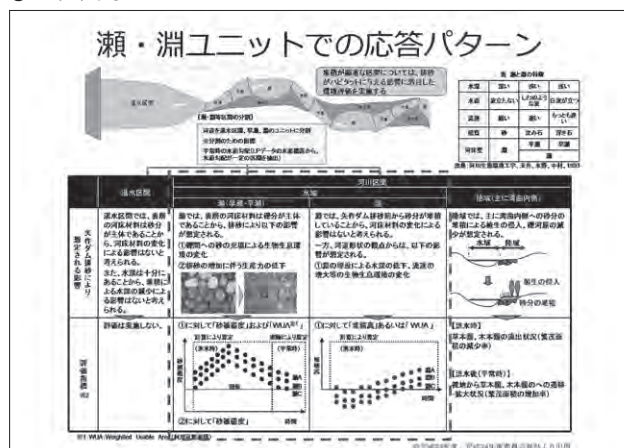
● スライド36



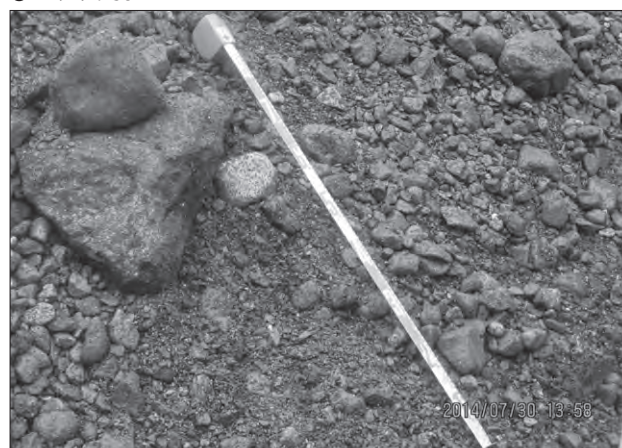
● スライド38



● スライド37



● スライド39



この間長安口ダムに行って現場を見せていただいたんですが、数万 m^3 という土砂を今還元しています。これがダムの直下からすぐ近くのところですが、ここはすごいです。これがダンプで相当の土砂を下流に置いているところです（スライド38）。先般の洪水でまた土砂が下流に相当流れたのではないかと思います。私が行ったときも既に土砂が流れていて、これは粒径です（スライド39）。矢作川みたいなところをよく見ていたんですが、ここにいくと粒径が粗くて、砂だけではなくて小礫から中礫、大きいものだと大礫みたいなものが相当程度入っているという状況です。

その下流の橋から撮った写真です（スライド40）。ここに瀬があってこちらが下流側になっています。ここの淵の部分はあまり埋まっていなかったんですが、ここから上流を向いてさっきの滞っばいところを見ると、もともとここはもうちょっと深かったら

しいんですけれども、そこが全部埋まってしまっています。これがまず地形の変化で深くて洪水、特に中ぐらいの洪水のときに、掃流力が小さいところについては、土砂が堆積して非常に水深が浅くなるような応答が起きてしまっているのではないだろうかと考えました。見ていただくと河床が平らになってしまったので、まず水深がないんです。水深がもう全然なくなっているということと、あと水深がなくなったために、底に黄色くなっているのが見えますか。付着藻類が相当繁茂している状況です。浅くなれば当然暖かくなりますし、それから河床まで光が到達しやすくなるので、生産力が相当上がっていくというふうになります。だけど住める生物が少なくなるので、餌資源が増えるんだけどもそれを利用する生物が少なくなるということになりますから、水質が悪化するという問題が起きやすいということになります。

● スライド40



● スライド42



● スライド41



● スライド43



瀬の部分はまだちゃんと残っていて、これは瀬の部分なんです、この上流が埋まっているわけです。瀬の部分はちゃんと残っている。瀬の直上流の部分にも相当まだ礫がたくさん残っているという感じになっています。現況の礫間の流速が遅いところに相当魚の群れが見られているので、瀬が埋まらなければたぶん付着藻類、ベントス、魚の一部はこういうところで生息できるんだろうなと思います。そんな応答が起きたということです。(スライド41、42、43、44、45)

そういう応答があるということを少し考えながら、どんなことをしたらいいかということです。たぶん服部さんからもお話があったと思いますが、Q-Qsの設定の仕方によって下流の物理環境が大きく変わります。変わる視点としては地形が変わるという部分と河床表層、特に瀬の部分の材料がどう変わるかという2つの視点があります。その変わったこ

とに対して、生物の観点から、それが影響ありやなしやということについて評価をしていかないとけないということになります。(スライド46)

そのためには、地形の部分、それから河床の表層に対して閾値を設定しないとけないというふうになります。閾値というのは、例えば礫だったところに砂をどんどん添加していった、例えば砂被度で何十%を切ると礫に依存するようなものが住めなくなるかというような閾値設定をして、それを超えるようなQ-Qsカーブの設定の仕方をするともずいんじゃないかという判断を最初にしていくことになります。(スライド47)

ただそれはリーチスケールという話なので、より広域に考えた場合、例えば一部は確かに閾値を越えてしまっていて問題があるんだけど、水系全体で見たらその個体群は十分維持されるだけの生息環境が下流にありますという視点もあるので、まず第一段階はリーチ

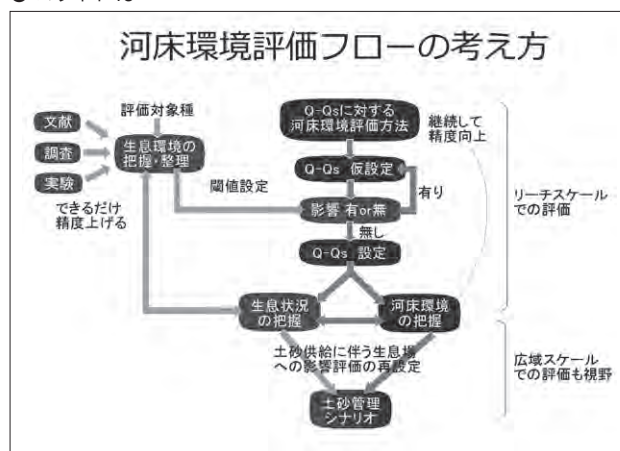
● スライド44



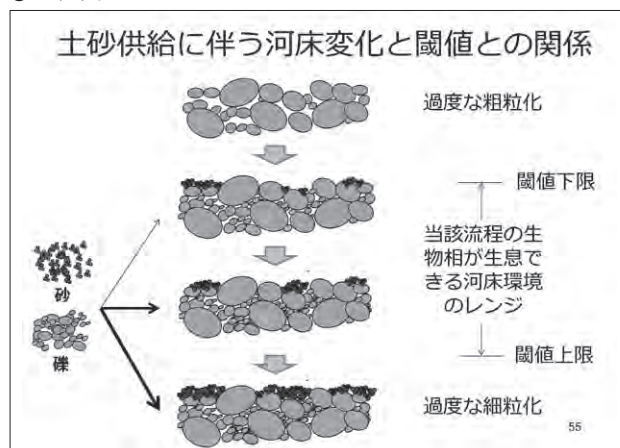
● スライド45



● スライド46



● スライド47



スケールで評価をしておいて問題がありやなしやということを評価しましょう。だけどやはりこういうQ-Qsカーブを設定しないといけない、ということであれば、その次にはやはり広域スケールに評価の視点をずらして、例えば30%までだったら生息適地の減少もいいのではないか、という判断をしていかざるを得ないのかなというふうに思っています。

閾値については2つの閾値があるので簡単にご説明します。これは粗粒化している礫です。ここに砂とか礫を添加していくと、だんだん細粒化した部分が増えていくということになります。魚の場合はなかったんですけども、例えばベントスの場合だと、過度な粗粒化をしていると生物群集が大きく変わるということは先ほどお示ししました。そこに添加をしてあるところまで行くと、ダムの上流と同じような群集構造になっていくレンジに入っていくわけですが、さらに添加して砂、砂になってくると今度は閾値の上限を突破してしまって、ダムの上流はおろか、砂にしか依存しないような群集構造になってしまうというふうになるので、閾値というのは下限値と上限値が2つあるということが結構大事になってきます。ですからその2つを探索していきながら、問題があるかどうかということを評価していかなければなりません。

お手元のスライド48に、その辺のことを書いた表をつけておいたので見ていただきたいのですが、これはまだ試案なので論文にも書いていないもので大変恐縮です。一番上にあるのはリーチスケールの平瀬、淵、早瀬というのが載っていて、平面分布です。それに水際というものがつけてあって、縦断面図でその瀬-淵構造が書いてあるというふうになっています。(スライド48)

ユニットというところを見ていただくと、早瀬、平瀬、淵と水際というこの4つのユニットがあって、表層と形状といったのがさっき言いました地形的な変化というのが形状、表層というのが河床表層の材料が変わっていくということが、視点になっています。それぞれこのマトリックスの中身は、その表

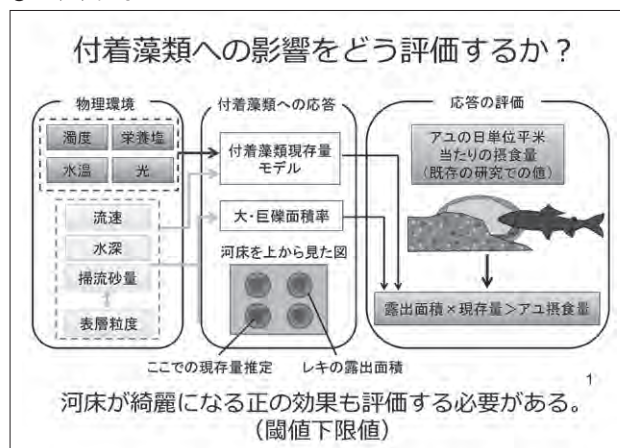
層と形状でどういう評価をしたらいいかということを書いています。

簡単に言うと早瀬とか平瀬については、どちらかというと表層の評価、それから淵みたいなのところについては、地形形状の評価といったものがそのユニットを評価する上で大切ではないだろうかことを書いています。

その次が分類群別にどのユニットで評価をしたらいいかということが書いてあって、上から藻類、底生動物、魚類・底生魚、魚類・遊泳魚というのが書いてあります。藻類と底生動物については淵とか水際、ここでは通常評価をしないわけです。それは生産力が低いとか、淵は生息する種が少ないとか。水際というのは水位変動の影響を受けるので環境的に不安定だという理由があるので、通常は早瀬と平瀬で評価していくということになります。

現状、藻類についてはどういう評価をしているかというと、今日冒頭にお話ししましたように、本来ダムの下流で起こっている問題というのはバイオマスが増えるというだけではなくて、例えば無機物量が多くなって餌資源の質が悪化するという問題もあります。ですから質的なものも評価をしないといけないんですが、現況持っているモデルというのが現存量の再現しかできないんです。ですから当面現存量をベースにして土砂供給を行ったときに、それがどう変化するかということを足掛かりにして評価をしていくことを考えています。(スライド49)

● スライド49



土砂供給の水生生物への影響を評価する方法(案)について

20140416
共生C

(1) 対象場所ユニットの考え方

- ・ダムが多い中流部では河川内のユニット(瀬・淵)が、比較的明確であり(図1参照)、瀬もしくは淵の形状や表層の状態が重要。
- ・各ユニットの区分は、景観に基づく判断により決定する。
- ・各ユニット内における流速・水深、河床表面の粒径別面積割合が、そのユニット内での生物にとって重要となる。
- ・ユニットの模式図を図1に、各ユニットの評価の視点を表1に示す。

図1 対象場所ユニットの模式図

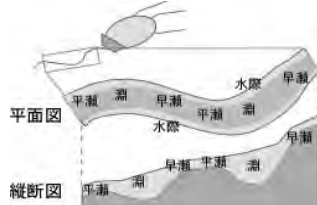


表1 対象場所ユニットの表層および形状の特徴と土砂供給に対する評価の適正

ユニット		早瀬	平瀬	淵	水際
	表層	・表層が巨礫、大礫等から構成されるため、砂供給の影響を評価しうるユニット。	・表層が大礫、中礫等から構成されるため、砂供給の影響を評価しうるユニット。	・表層がそもそも砂等の細粒成分であり、砂供給が表層に及ぼす影響評価には不適である。	・表層の粒径にばらつきがあり、砂供給の評価には不適である。
	形状	・淵と比較して堆積域とはならないため、地形変化の評価対象ユニットには不適である。	・淵と比較して堆積域とはならないため、地形変化の評価対象ユニットとしてはやや不適である。	・堆積域であり地形変化の影響を評価しうる。	・地形変化の変化の幅が大きく、評価が難しいため不適なユニットである。

(2) 生物分類群への影響に対する考え方

- ・生物分類群は、河川に代表的な藻類・底生動物・魚類を対象とする。
- ・土砂供給によって生息環境の変化が大きく、生物への影響が大きいユニットを評価対象とする。
- ・各分類群から代表的な普通種を数種選定して評価する。ただし、藻類は現存量で評価する。
- ・各分類群の評価方法をユニット別に表2に整理した。

表2 評価対象とするユニットと評価に必要な変数

生物分類群		早瀬	平瀬	淵	水際
藻類	評価対象ユニットとしての適・不適	適	適	不適	不適
	その理由	・生産性が高く、砂供給に伴う物理環境変化による影響が大きい ・やや調査が困難と言う問題はある	・生産性が高く、砂供給に伴う物理環境変化による影響が大きい ・調査しやすい	水深が深く、流速も遅く、基質となる礫も少ないため生産性が低く、評価対象とはならない	水位変化の影響を強く受け(乾燥する場合がある)、非常に不確実性が大きく、評価が困難である
	評価方法	現存量(プロセスモデル)	現存量(プロセスモデル)	—	—
	必要となる変数	・流速、流砂量(掃流砂量および掃流砂の粒径)、 u_{*c} 、水深、河床表面の粒径別面積割合	・流速、流砂量(掃流砂量および掃流砂の粒径)、 u_{*c} 、水深、河床表面の粒径別面積割合	—	—
生物分類群		早瀬	平瀬	淵	水際
底生動物	評価場所ユニットとしての適・不適	適	適	不適？(初期条件に依存)	不適
	その理由	・種数が多く、現存量も大きい。 ・砂供給に伴い変化する底質などの物理環境の影響を強く受ける。	・種数が多く、現存量も大きい。 ・砂供給に伴い変化する底質などの物理環境の影響を強く受ける。	・瀬に比べ生息する底生動物は少ない。また、砂依存の種が多いため、砂供給の影響を受けにくい。ただし、初期条件で河床に砂がない場合は、検討を要する。	・水位変動の影響を強く受ける不安定な環境のため、不確実性が非常に大きく、評価が困難である。
	評価方法	群集構造	群集構造	—	—
	必要となる変数	流速、水深、河床表面の粒径別面積割合	流速、水深、河床表面の粒径別面積割合	—	—
生物分類群		早瀬	平瀬	淵	水際
魚類・底生魚	対象場所ユニットとしての適・不適	適	適	不適？(初期条件に依存)	不適
	その理由	・礫依存の種群が生息するため、砂供給に伴い変化する底質などの物理環境の影響を強く受ける。	・礫依存の種群が生息するため、砂供給に伴い変化する底質などの物理環境の影響を強く受ける。	・砂依存の種が多いため、砂供給の影響を受けにくい。ただし、初期条件で河床に砂がない場合は、検討を要する。	・水位変動の影響を強く受ける不安定な環境のため、不確実性が非常に大きく、評価が困難である。
	評価方法	個体数(選好曲線)	個体数(選好曲線)	—	—
	必要となる変数	・流速、水深、河床表面の粒径別面積割合(底質状態の代替指標として)	・流速、水深、河床表面の粒径別面積割合(底質状態の代替指標として)	—	—
生物分類群		早瀬	平瀬	淵	水際
魚類・遊泳魚	対象場所ユニットとしての適・不適	適	適	適	やや不適
	その理由	・遊泳魚にとっても、流速や水深だけでなく、避難地や餌の獲得の面から底質は重要な要素となり、砂供給の影響を受ける。	・遊泳魚にとっても、流速や水深だけでなく、避難地や餌の獲得の面から底質は重要な要素となり、砂供給の影響を受ける。	・大型個体にとって重要なユニットであり、砂供給に伴う水深の変化など、淵サイズの影響を受ける。	・遊泳能力の小さな稚魚の生息場となるため、重要なユニットと認識されているが、どのような流速・水深の水際が稚魚の生息にとって好ましいかの知見が非常に乏しい(つまり、存在は重要だが、具体的な評価は困難)。
	評価方法	個体数(選好曲線)	個体数(選好曲線)	個体数(選好曲線)	—
	必要となる変数	・流速、水深、河床表面の粒径別面積割合(底質状態の代替指標として)	・流速、水深、河床表面の粒径別面積割合(底質状態の代替指標として)	・流速、水深	—

別紙参照

別紙参照

注目種を
選定
生息適地を
明確化

(3) その他

- ・評価の対象とする範囲は、土砂供給源から下流方向に砂被度が大きく変わらなくなる地点までとする。
- ・洪水終了後、平常時になった状態を評価対象とする。

底生動物についても早瀬、平瀬を対象にして検討するということです。ここについては群集構造、これはたぶんリファレンスとしてダムの上流とか支川になると思うんですが、そういった群集構造に近いような群集構造が土砂供給を行うことによって、上限と下限の間に入って、そこに生まれるかどうかといったようなことが評価対象になるかなと思っています。

魚については2つあって、底生魚は川底依存なので、ベントスと同じように早瀬と平瀬みたいなところで評価すればいいと思うんですが、遊泳魚については早瀬、平瀬だけではなくて淵とか瀬といったところに依存するものもありますから、それぞれについて評価をしないとけないというふうになります。この4つぐらいの分類群というか底生魚と遊泳魚も含めた分類群ですけども、絞って評価をしていったらどうかということで今考えているところです。

では付着藻類をどうするんだということです。モデルで大体付着藻類の生産力というのを評価することができます。大体今、矢作川なんかで議論をしているのが、付着藻類の餌資源としての量、質が確保されるかどうかということが非常に重要になっていて、それを考えると、まず付着藻類の現存量モデルでどの程度の付着藻類が単位 m^2 で生産されるかということがある程度わかります。そこに砂を流していったときには、当然礫の上にある付着藻類が削られてなくなっていくという摩耗効果と、それから礫

が埋まってしまうことによる被覆効果というこの2つがあります。この2つが Q_s を増やすことによって、だんだん減少していきますから、減少していったときにアユの適正な摂食量を下回るような生産力になると、アユの成長が低下するのではないだろうかといったような仮説を持って評価をしたらどうかと、今、考えています。アユの日当たりの摂食量というのもある程度わかっているので、こういったことをベースにして砂との関係を見ていくということが大事なかなと思っています。(スライド50)

ただ、こういうモデルに入っていないものとしては、アユというのは礫全体をはんでいるように見えても、これは上から見てみないとわからないんですけども、側方ははまなかったり。あとはむとしても、これは全部はんでいるんですが、いろんなところで見ていると前面のほうばかりはんだりとか満遍なくはむわけではないんです。(スライド51)

そうすると、はまないとところまでは埋没していいんだけど、最後のよくはむ上の部分だけは埋没しなくてもいいみたいな話が出てくるので、単純にそのモデルを組んで $1m^2$ あたりの生産力とやってみると、ちょっと安全側に評価され過ぎてしまう可能性があるんで、そこはきっちり今後検討していかなければならないかなと考えています。

底生動物については、ちょっとこれは見にくいんですが、阿木川ダムと坂本ダムという四国のダムと矢作ダムの3ダムで底質、流速、水深の3つの変量

● スライド50

アユの日当たり摂食量の研究例		
対象種	測定値 ($mg\text{-chl.}a\ m^{-2}day^{-1}$)	引用
アユ	12~30 (魚体重ベース)	宮地 (1960)
	9~15 (魚体重ベース)	石田(1964)
	18~29 (魚体重ベース)	群馬県水産試験場 (1986)
	2.8~11	深見他(1994)

● スライド51



とそれぞれの群集がどうプロットされるかというのを見たものです。(スライド52)

さっきのCCAとちょっと似ていますが、変数は3つしか使っていないというところです。

赤がダム下流、青が支流、黄色が合流後となっています。赤のゼロの調査時点の群集構造というのは、ダムの上流とか支流の群集構造と相当違うということがわかります。場所が離れていると群集が違うというふうになるので、それを見てください。見ると、上のほうはダムの下流の地点がプロットされていて、下のほうはダムの上流とか支流がプロットされるというふうになっています。ですからここからわかるわけです。その中に物理変量のベクトルを入れているんですけども、水深は斜め左のほうに出ていて、流速はあまり効いていなくて右上に出ていて、縦の方向に出てるのが、川底の材料の大きさが出ているわけです。ですからダムの下流と上流、支流でベントスの構造が相当違うということがわかって、さらにそれに効いているのが川底の材料だという結果になっています。

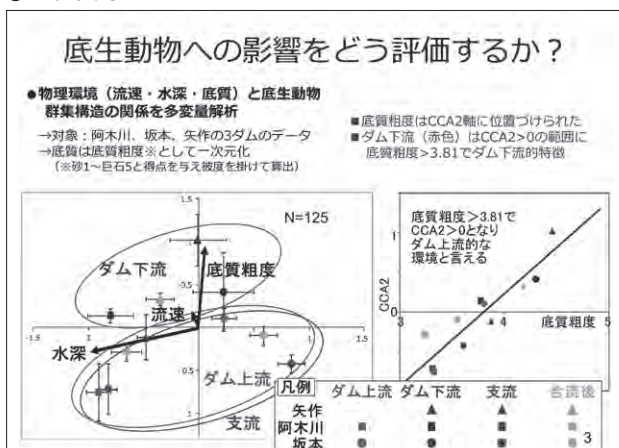
もしもこの底質粗度のベクトルで切っていたときに、さっきのこの軸の垂線を下ろしたところの値をプロットしていったのがこの図です。底質粗度3.81というこれは加重平均をした評価軸ですけども、3.81ぐらいよりも粗くなってくると、ダムの下流的な群集構造に変化していくということがわかります。ですから土砂を供給してこちらが細粒化のほう

ですが、細粒化をして3.81を下回ってくるとどうもダムの上流っぽいような群集になるというのがこの結果からわかります。これはさっき申し上げた閾値の中の1つ、下限値です。

もっとこういくとどうなるかという、今度はまた違う群集構造になりますから、上限値のほうも探索しないといけないということになるんですが、ちょっとまだそこまではできていない。ただ、こういった手法によって、上限と下限の値、すなわち河床材料に対して砂を添加したときの群集の応答特性といったものがある程度わかって、それをユニットに当てはめると、砂をどれだけ出すとどんな問題が起きるかということがわかるかなと思っています。

魚については、さっきもダムの上下流であり差がなかったんで、ちょっとまだ悩ましいところです。やろうとしていることだけちょっとお伝えすると、魚類の産卵環境と成魚の生息環境といったものを粒径集団との関係から整理するということをやっています。これは既往の情報をベースにして、日本の河川に出てくる淡水魚系、これは見えにくいんですが全部魚の情報です。砂、砂利とか礫とか石と書いてあります。図鑑なので石が好きとか、表現の仕方はまちまちなんですけど、それをいろいろ解釈し直して横軸に設定しました。それに対して、産卵環境はどんな場所を使うのかとか、成魚のときにどんなものを使うのかというのを粒径に対してバーチャートを引きつけて整理をしていくということを全部やりました。これをどう使うかということですが、これはアユとウグイとカジカの3つを出してきています。これに対してダムの上流の粒度分布、これは例えば表層の材料のパーセンテージ割合みたいなもので表現をしています。これがダムの上流、これがダムの下流、これが土砂供給したときの河床材料の粒径と示しています。そのときに当然、ダムの上流からダムの下流でなくなっていく粒径というのが出てきますから、そこに該当するような魚種、それから産卵なのか成魚なのかということを見ることによって、とりあえずその底質に対する選好性が

● スライド52



らメリットになるのか、デメリットになるのかということはある程度判断できるだろうというふうに考えています。(スライド53)

ですのでこういった粒径との対応関係と実際に計算をして土砂供給を行ったときの底質の変化というものマッピングを行うことによって、どんな魚種に対する影響があるかということを見ていこうということで、今、検討を進めているところです。(スライド54)

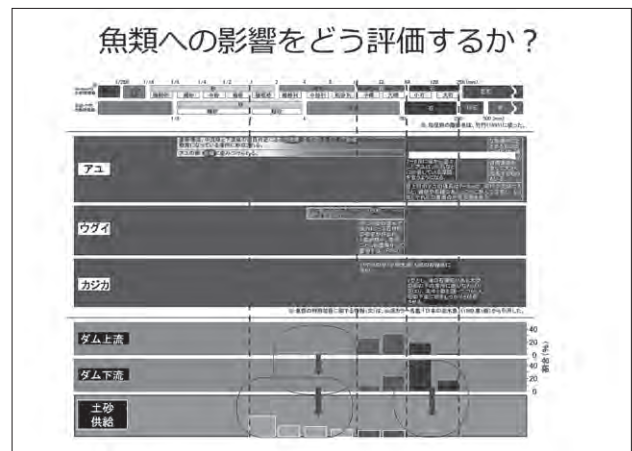
今のリーチスケールの評価なんですが、リーチスケールの評価というのは、究極の目標は、その水系に住んでいる個体群を絶滅させないということになりますから、その場所が生息不適地ではなくなったとしても、下流に適地があった場合というのは問題ないというふうに判断されるかもしれません。ですから先ほどやったような方法でリーチスケールの評価はしておいて、その次のステップとしてより広い空間を対象にして評価をしていくということが、大切になるかなと思っています。

次は飛ばして、ここ(スライド31)がいいかな。ここは矢作ダムがあって下に中電のダムがいっぱいあるので、こうなっています。リーチスケールというのは、こういう場所です。それぞれの場所でリーチスケールの範囲をとってきて、それに対して付着藻類と底生動物と魚類、この3つに対して現存量、群集構造、個体数とか在・不在をある評価手法を適用して、適なのか不適なのかということの評価して

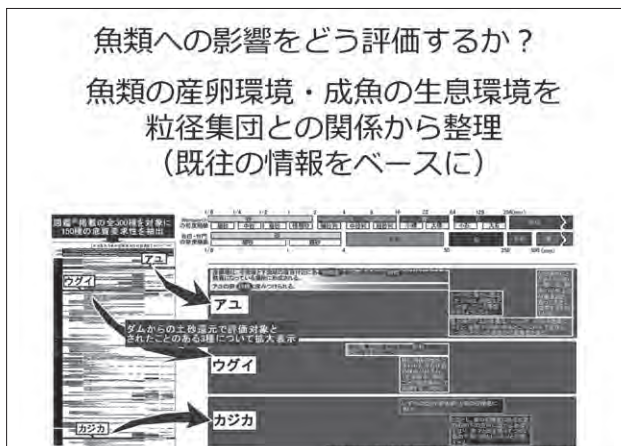
いこうということです。そうするとここが不適になって不適になって、適、適というふうに場所によって、適と不適が分かれてくるのでリーチスケールの判断はできるんですけども、それを今度広域に持っていけないといけないというふうになります。

広域の持っていく方法ですけども、たぶん視点としては、縦断方向に魚なら魚で分布域がどういうふうになっているかということはある程度明らかにしていけないといけないと思っています。例えばオイカワとかウグイみたいに、非常に広い生息範囲域に生息していて、かつ移動分散能力の高い種については、リーチスケールの評価で例えば上流がだめになっても、下流域で生息している生息範囲から個体群が維持できると判断してもいいかもしれません。例えばダムのアセスで言えば、大体30%ルールというのがあって、生息適地が30%までの減少は大丈夫だろうという判断をしています。この30%が学術的

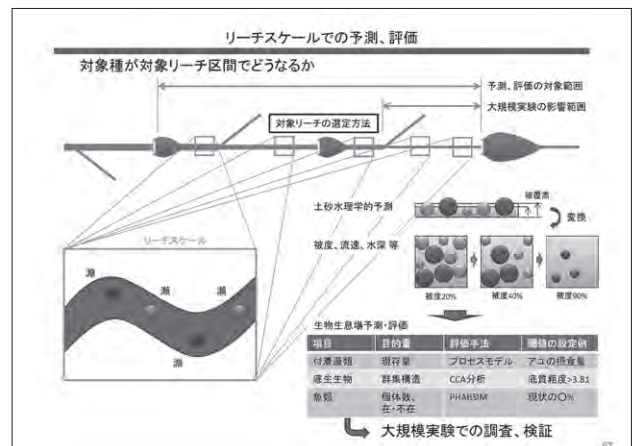
● スライド54



● スライド53



● スライド55



にオーケーかどうかというのは非常に難しいんですが、実際に事業をするときにはそういう判断をして、ここまでならオーケーだということを言わないといけないのではないだろうかと思っています。

ただ、問題になるのは、分布が限定されている種です。例えば豊川のネコギギのように、遺伝的にも交流がないような個体群がばらばらに分布しているとなってくると、同じ種なんですけれどもこの種がいなくなってしまうと、遺伝的特徴があるこの個体群がいなくなってしまうということになります。そうすると、リーチスケールで不適となったことイコール広域でも不適という判断が下されることになりますから、その検討を今後していく。もしくは、検討のためのツールを準備するということが必要になってくるかなと考えております。

まとめですけれども、前段はダムがあることによって上流と下流で何が違うとか、それから下流の変化といったものがどんな要因によって引き起こされるかということについて説明をしました。次にリーチスケールでの評価をお話ししたわけですが、瀬と淵の地形変化、特に淵みたいなたまるような場所でどんな堆積が起きて水深が小さくなっていくのかというのを評価するのと、底質の変化が物理的に予測できれば、河床変動計算などで予測ができれば、3つの分類群については、ある程度予測評価が可能になるのではないだろうかと考えています。もちろん上の閾値と下の閾値があって、全部出揃っていないものもありますが、方法としては、もう少し経てば現場で適用できるようなレベルになってきているというふうに思っています。

ただ広域スケールについては、評価対象種のそれぞれについて生息適地の量、配置がどういうふうになっていけば、その個体群が存続可能なのかということがよくわからないんです。今後その視点を少し踏まえて、どの程度の消失率まで可とするかという判断をしていくことが必要かなと思っています。

最後に今回は、多様性の視点を評価にフレームを考えたわけです。ただし実際には、水産資源の保護、

外来種の除去、樹林化抑制、川原干潟の再生とか、土砂供給によって受けるさまざまな効果、負の影響、生物以外にもいろんな視点があります。ですからそういった視点を全部整理しながら、たぶん土砂供給シナリオは最初は治水的な話と、堆砂している土砂等を除去するかという話から決まってくると思うので、そこから出てきた土砂管理シナリオ、土砂供給シナリオを非常に広範な視点から評価をしていくことが必要になると思っております。

本日は生物の観点からだけ述べたんですけれども、ほかにもいろんな視点があるので、そういった視点も含めて判断をしていくということが、今後必要になってくると考えております。

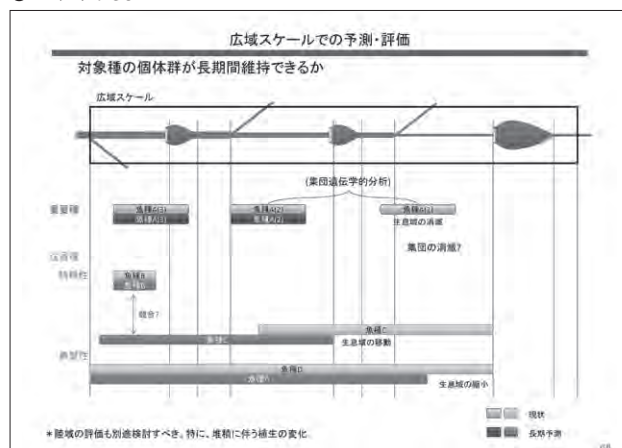
ということでちょっとわかりにくい部分もあったかもしれませんが、これにて私の報告というか、発表とさせていただきたいと思います。どうもご静聴ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 2点ほどあります。1つは最後のほうで言われた広域的な評価というところで、土砂の供給と遺伝的な分断みたいなお話が出てきました。その辺と土砂の供給というのは絡みがある話だったのかというところを、ちょっと確認したいということが1点。

あと途中で長安口ダムの例の中で、砂が流れてきて淵が埋まったような状況だということがありまし

● スライド56



た。こういったことは人工的、人為的に土砂供給をしたときに起こりやすいような話なのか、普段の出水のときに土砂が出たときにこういうことは出てこないのかといったところを教えていただければと思います。

萱場 ありがとうございます。ちょっと説明が不十分で誤解を招いてしまったかもしれません。上流から土砂供給をするわけです。(スライド56) この付近の範囲の砂被度が非常に上昇してしまって、礫依存の重要種が住めなくなるという可能性は当然出てくるわけです。それが、生息域が非常に広くて、遺伝的に交流している個体群であれば、下流に移動して住めるだろうという判断ですけれども、遺伝的に交流をしていなくて1つの個体群として考えられるものについては、これそのものに価値があるという判断になりますから、ここで消滅してしまうということは多様性の減少につながるということですから、そこはちょっと分けて考えないといけないのかなというふうに思っています。

たぶんネコギギみたいな話ですよ。それで大丈夫ですか。

質問者1 わかりました。

萱場 長安口の話はもうダムができて相当たっていて、矢作ダムでもそうなんですけれども、相当淵の部分が低下しているという中で土砂供給されたという認識も当然あると思います。ですから、ダムがなかったらあんな河床形態だったということも考えられるんです。そこをちゃんと評価しないといけないですね。それがちょっと難しいですけれども、そういうご質問ですか。

質問者1 わかりました。自然の状態であれば、例えば淵が埋まったときに、流れが右から左に変わったとして、逆側にまた深いところができたりとかという変動を示していくのかなというイメージがあるんです。そのときにダムができる前、どういう環境だったのかというのもあるとは思いますが、今の状態が変わったよということはわかるんですけれども、変わったときにそれがかわりの環境は

できていないのかとか、ちょっと経てばできるのではないとか、そのあたりのところですよ。

萱場 まだ間欠的に出ているということもあるので、時間軸にとったときに、その環境がどういふふうに変動するかということまでは、私もよくわからないんです。ただ、長安口はもうどんどん上流から土砂を持ってきて、相当連続的に土砂を流下させているので、たぶんあの埋まった状態というのは当分長く、土砂を流している間は続くんだろうなというふうに思っています。

ダムができる前と比較して確かに同じだという判断もできるんですけども、一番大事なのはやはり今生息している生物が持続的に生きられるかどうかということが、たぶん一番わかりやすい判断だと思っています。今日もお話ししましたように、魚に関していうと、上流も下流もそれほど差がないということは、ダムができる前からいた生物相が下流にもまだ相当いると私は考えていて、そこをベースにして今いる生物が不利にならないような土砂の出し方はどんなことがいいたろうか。もう少し端的にいうと、土砂を出すことによって絶滅しないようにするためにはどうしたらいいんだろうかという、そういう視点で今、整理をしています。質問に答えているかどうかわかりませんが、その周辺も含めてお答えいたしました。ありがとうございます。

質問者1 ありがとうございます。

質問者2 たくさんデータを分析していただいて、大変参考になるいろんな考え方を教えていただけたと思います。

2つあるんですけども、1つはご説明いただいたのはたぶん、現在ダムが既にある環境の中で、土砂を出すことの負の影響をどう評価するかというご説明が中心になっていたような気がします。そもそも、今のダムがある環境に対して土砂を出すということがプラスの要因を生まないのであれば、土砂を出すことの意味自体が一体何なんだろうという気がしたんですけども、そもそも土砂を出すことで、河道にとって非常に改善されていく要素はどういう

ところにあるのかという点は、どのように整理されているかということをもまず1点お聞きしたいのと。

2つ目は、ないものねだりのようなお話なんです。先ほどもちょっとお話に出ましたが、最近できたダムでアセスメントをやられて、ダムができる以前の状態をある程度調べている川というのもそれなりにあるかと思うんですが、そういう川を取り出したときに、上流から下流までのダムがない状態での生物相のつながり、ダムができた後との変化ということが、非常に多量のデータを集められて分析されている中で、今後、そういう成果が出てくるような可能性はあるのかということについてお聞きしたいんですが、その2点お願いします。

萱場 2点目が途中でわからなくなったのもう一度聞きますが。

1点目ですが、これは（スライド47）は粗粒化している状態です。これは出し過ぎちゃって砂被度が増えて過ぎてしまった状態になっています。今日お話したのは、付着藻類、ベントスはこの状態になってしまうと相当いろんな問題があると。それは多様性という観点で問題があるということがわかっている。

例えば土砂還元したときは、こんな状態を目指しているわけです。閾値下限を通過してこの程度になれば相当環境がよくなるのではないかと考えてやっています。土砂供給の仕方によって、このどの段階になるかというのは相当違うと思います。矢作とか長安口もそうですけれども、相当大きい土砂を下流に送っていったときに、Q-Qsの設定の仕方によって、当該流程の生物相が生息できる河床環境のレンジを突き抜けてしまう可能性もあるのではないかと考えています。なのでこのレンジに収まるように土砂を流せば、たぶん正の効果になると考えていいと思うんですが、突き抜けちゃうと負の効果になってしまうということです。そこの頭の整理はしておかないといけないのかなと思っています。

ちょっと負の効果、負の効果といったのは、矢作の場合、河床が砂で覆われてしまっている問題が非常にクローズアップされているために、ちょっと私

の思考回路が、今そっちに傾いていて、発言もそうなっているということなんです。本来供給されなかったところに供給するわけですから。正の効果を考えながら、土砂供給をしていくというのが当然あっていいだろうなと思います。これで1個目の質問は、オーケーですか。

2つ目はもう一回伺いますけれども、ダムの上下流の差が…。

質問者2 最近完成したダムの中で、まだダムがない時期のいろんな調査データが存在するような、そういう条件のダムについても、かなり大量のデータが収集されているかと思いますが、そういうデータを対象に、ダムができる以前・以後の関係性です。生物相の変化というのは、どのように上流から下流までつながっていつているのかということを見ていて、それと例えば河床などの状態の関係というようになことを整理するという研究が、今後できていく可能性はあるのでしょうかという質問です。

萱場 アセスのときに相当大量のデータをとっているのと、あとは下流物理については特にちゃんとシミュレーションを水温、濁りも含めてやっているの、それが本当に竣工後に合っているかどうか。それから合っていないのならなぜなのかということをやらないといけません。そこはまだ十分できていないので、新規ダムのデータを使って今日やったことをより深く掘り下げていくような検討をして、その先にたぶん土砂供給の話も答えとしてあると思うので、そこは取り組んでいきたいと思っています。ありがとうございます。

質問者2 ありがとうございます。たぶん1点目のお話、閾値と閾値の間のところに来るような土砂を出す管理ができれば、現状よりも当然底生動物とか付着生物の環境はよくなるんでしょうけれども、魚についてはよくわからないということだったんですが、その間に置いておくということは、魚にとっても十分プラスになり得るというような意味合いで理解をすればよろしいのでしょうか。

萱場 魚は影響が検出されないだけで、影響はある

だろうなと思っています。特に産卵環境については小さい材料が増えると産卵できるということは、土砂還元レベルでは確認されているダムもあるんです。なので一番上の状況よりはちょっと還元してこういう状況になると産卵できるということは当然あるので、3つの分類群について供給したほうがこのレンジに入って相当よくなるというのはあるんだろうなと思っています。

質問者2 マイナスに気をつけようというところがすごく強調されると、総合土砂管理をする意欲自体が若干減ってしまうのではないかとということが危惧されるので、ぜひいい面もたくさん出していただけるとありがたいなと思います。

質問者3 今日はダムのアセスを担当している者にとっては、非常に有益な話をどうもありがとうございました。

長安口の土砂供給の変化とか魚類の予測では、生息環境よりも産卵環境のほうが大事であるというようなお話だったと思うんですが、今回のお話の説明では年変動というか、大きな変化を重点的に説明されました。1点聞きたいのは、そういう年変動の変化の話の中に、例えば魚種によっては産卵時期が春にあったり秋にあたりするものが出てくると思います。土砂の季節変動というようなことが、今後、土砂供給との絡みで可能になるものかどうかというところを教えていただけたらと思います。

萱場 非常に難しい質問ですね。今やっているのは土砂供給をしたときに、どちらかというと河床がある意味動的に安定しているという状態を評価しているんですけども、実際にはたまった土砂が次の土砂を含まない洪水で増えたりなくなったりという変動は当然出てくるかなと思います。ただ僕もどういう土砂供給シナリオが描けるかということを個別のダムでそれほど見ているわけではないので、それが実態としてどうなるかというのが、まだ頭の中で整理がついていない状態です。

大事な視点だと思うので、いただいた視点を踏まえてどう評価したらいいかということの検

討に加えたいなと思います。ちょっと答えにはなっていないんですけどもありがとうございました。

藤田 「技術的にかちっとした評価を体系的にやって、変なことにならないようにしよう」という基本的な印象を持ったんですが、ここまでいろんなことが見えてくると、昔のダムがないときにはこういうふうに土砂が流れていたのだから昔に戻しましょうという話はほとんど神話のようなもので、やはり現状の環境に対してよくなる面も含めてですけども、ちゃんと評価してやろうということが、1丁目1番地であるということでよろしいのでしょうか。つまり何となく昔に戻そうみたいな話はほとんどお題目なので、それはそれとして、ちゃんと技術的にやろうということでしょうか。

萱場 やはりステークホルダーの皆さんに何が起こるかと説明しようと思うと、昔に戻りますというだけでは到底説明できないと思うんです。特に水産資源みたいなもの、ピンポイントでここを守らないといけないとか、流したときにどういう反応が起きるかということは皆さん知りたいわけですから、それぞれについてどうなるのということをちゃんとご説明するための技術体系を作っていくというのが非常に大事なかなと思います。

藤田 ある種の哲学的な話になっちゃうんですけども、魚の生息とか付着藻類の現存量とか底生動物の多様性とか全体的によくなくなっても、昔の状態がそうだったんだからいいじゃないかという議論は、やはりこれもある種あくまでも机上の空論であって、現実世界の中ではそういうものはない。

萱場 一応生物相については、当該流程の生物相が生息できると書いてあるんです。当該流程は何かというと、これはダムができる前の生物相をベースにして、環境改変の許容度を考えようというふうになっているので、この部分についてはたぶん昔がこうだったからという話と個別の生物相を見るという話は、相当マッチングしていると思います。

藤田 矢作川がそうかどうかはわからないんですけども、ひとつ議論として矢作川は非常に砂の供給

量が山地部においても多いので、もしかしたらダムがないときは、この図でいうと一番下のような状態に結構なっていたということがもしあったとしたときに、そこまでやるのは昔に戻すわけだが、やはりちょっとやり過ぎなのだというのは、ある種人間の影響力を引き続き土砂再生の後もコントロールしようという考えになりますね。やはりそこは避けて通れないということですか。

萱場 その整理がまだ途中段階なんですけど、例えば「アユの生息域が昔はもう少し違う場所だった」という話と、「現況、水産資源という観点からいい漁場に

なっている」という話は相当分けて考えないといけないです。もしも昔の生息域に戻そうという話であれば、こういう過度な細粒化になってアユがもっと下流に移動するということはあるだと思うんですが、ステークホルダーの中にそこでなりわいでアユを獲っている人がいる場合には、ちょっとこれはまずいよねという話になりますから、少し項目によって、どこまで許容できるかということの種類というか、そういったものを分けて考えていかないと、なかなかみんなが納得できるような評価、仕組みにはならないのではないだろうかと考えています。

ダムにおける土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるのか

国土技術政策総合研究所 河川研究部大規模河川構造物研究室 主任研究官
櫻井寿之氏

櫻井 国土技術政策総合研究所の櫻井と申します。

私は昨年度5月までは16年間、土木研究所のほうに在籍しておりまして、堆砂の予測とか対策の研究、ダムの放流設備の研究等をさせていただいております。今は国総研にありまして、総合土砂管理のことも担当させていただいております。

今日は、「ダムにおける土砂供給技術はどこまで進んでいるか」という大仰なタイトルをつけさせていただきましたが、一部個人的な見解も入っているところもございますので、ご批判等をいただけたらありがたいと思います。

内容ですけれども、最初に背景をご説明させていただいて、次に総合土砂管理におけるダムの位置づけみたいなことを、その次に、土砂供給技術はどこまで進んでいるかということ、最後に今後の展望についてお話ししたいと思います。

最初に結論をざっと説明させていただいてから、細かい内容をご説明したいと思います。

背景のところにつきましては、近年建設されてきているダムにつきましては、全国の平均的なものを

見ると予測されたような堆砂の進行となっている。ですが地域的なばらつきみたいなものは大きくて、一部のダムではかなり深刻な問題になっている。他の、問題になっていないダムでも100年レベルとかそういう長期的な期間を考えれば、問題が顕在化してくるだろうということです。（スライド1）

2つ目の総合土砂管理におけるダムの位置づけとしましては、土砂動態のモニタリングポイントとしての役割があるのではないかと。水系におきまして、土砂流下のコントロールができる可能性があるのではないかと。また水系において土砂供給を伴うような総合土砂管理を考えた場合には、砂防ですとかダム、河川、海岸といった中で、ダムの堆砂が最も切迫した課題ではないかということを考えています。

3つ目はどこまで技術が進んでいるかということですが、主な技術として土砂還元、土砂フラッシング、土砂バイパスというものが実用化されて実際に効果を発揮してきている状況ではありますが、コストですとか土砂供給のコントロール等に課題も見えてきている。そういった課題をコストを下げるとか



● スライド1

結論（1）

3/32

1. 背景（ダム堆砂の状況）

- ・近年建設のダムでは全国平均（堆砂の合計量）では予測された堆砂の進行となっている。
- ・ただし、ばらつきが大きく、一部のダムでは深刻な問題。
- ・他のダムでも長期的には問題が顕在化。

2. 総合土砂管理におけるダムの位置づけ

- ・土砂動態のモニタリングポイントとしての役割がある。
- ・水系において土砂流下のコントロールができる可能性がある。
- ・水系において土砂供給を伴う総合土砂管理を想定した場合、各領域の中で、ダムの堆砂がもっとも切迫した課題。

土砂供給のコントロールを実現しようということで、技術開発がいろんなところでされているんですけども、こちらも課題があってなかなか厳しい状況にございます。(スライド2)

今後の展望としましては、土砂供給のコントロールから見た土砂供給技術を再評価してみるですとか、それぞれの技術の特性を組み合わせた検討をするですとかコスト削減をさらに検討していく。土砂供給の費用を支出するための根拠の整理ですとか、関係者の合意形成などが必要ではないかということを考えています。この内容について、細かいところをご説明したいと思います。

最初の背景のダム数、基本的なこととございます。日本のダム数、日本では堤高15m以上をダムと呼んでおりますが、2012年の時点で2800ぐらいダムができております。その総貯水容量を合わせますと、約302億 m^3 になります。私は国土交通省に所属しておりますので、直轄、水機構、都道府県のダムを合わせますと、大体551になります。国交省の直轄、水機構のダムの数としては122になります。今回は国交省直轄、水機構のダムを主にご紹介したいと思います。(スライド3)

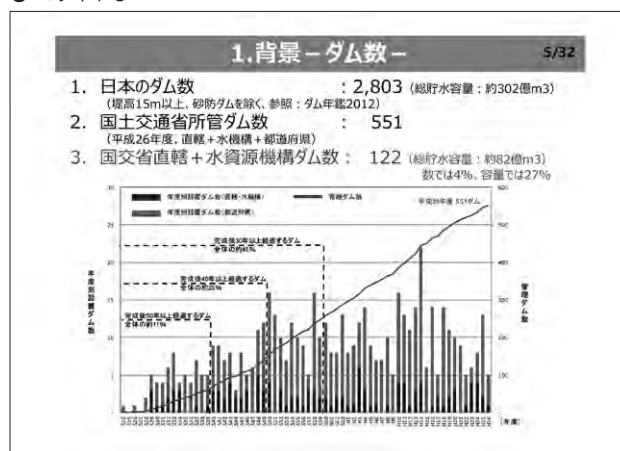
こちら122のダムも合わせますと、総貯水容量で82億 m^3 ぐらいございます。数で見ると4%ですが、容量で見ると3割弱を占めているようなものになります。

次に、堆砂の計画と堆砂の状況ということで、ご

存じの方もおられるかと思いますが、ダムがございまして水をためます。通常、構造令ができてから建設されているようなダムにつきましては、計画堆砂容量というものを設定しておりまして、大体100年分の堆砂量を予測して、その容量をあらかじめ貯水池の底のほうに見込んでいます。近年建設されてきているダム、大体20年くらい前から建設されているダムについては、その半数程度は、予測以下の速度で堆砂が進んでいる。ただし一部のダムでは、かなり深刻化しているという状況です。

次にお見せしています図につきましては、計画堆砂容量、取水容量も含んでおりますけれども、それが総貯水容量に占める割合を直轄と水機構のダムで示したものです。横軸が総貯水容量になっておりまして、縦軸が計画堆砂容量が占める割合になっております。特別多いものは9割ぐらいのものがございまして、大半は5割以下で、3割以下のとこ

● スライド3



● スライド2

結論 (2) 4/32

- 土砂供給 (排砂) 技術はどこまで進んでいるか？
 - 土砂還元 (置き土)、土砂フラッシング、土砂バイパスは実用化され、効果を発揮しているが、コスト、土砂供給のコントロール等に課題もある。
 - コスト低減、土砂供給のコントロールの実現を目指して技術開発が行われているが、課題がある。
- 今後の展望
 - 土砂供給のコントロールからみた土砂供給技術の再評価。
 - 技術の組み合わせの検討。
 - コスト削減のための検討。
 - 土砂供給の費用を支出するための根拠の整理。
 - 関係者の合意形成。

● スライド4

1. 背景 - 堆砂計画、堆砂状況 - 6/32

- 通常、100年分の堆砂量を予測し、その容量をあらかじめ貯水池内に見込んでいる。
- 近年建設されたダム (完成後20年程度) では、半数程度は予測以下の速度で堆砂が進行している。
- 一部のダムでは、予測よりも早く堆砂が進み、問題が深刻化。

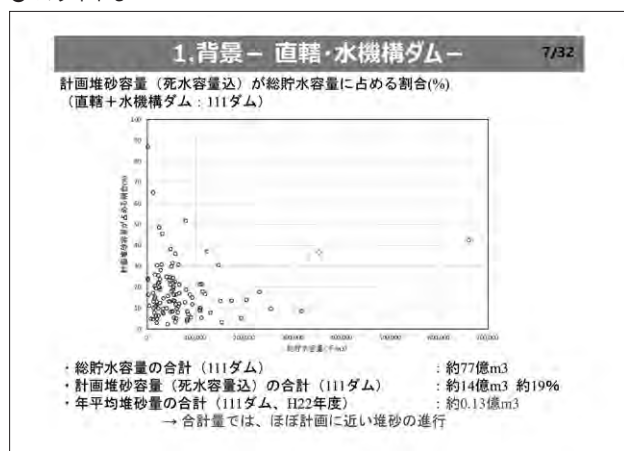
ろにほとんどのダムが入ってきているような状況になっております。(スライド4)

今回データをつくった111のダムの総貯水容量を足しますと、77億 m^3 くらいございますが、このダムの計画堆砂容量を全部足しますと14億 m^3 くらい。この比を見ますと、大体平均的には2割の堆砂容量を持っているという状況です。(スライド5)

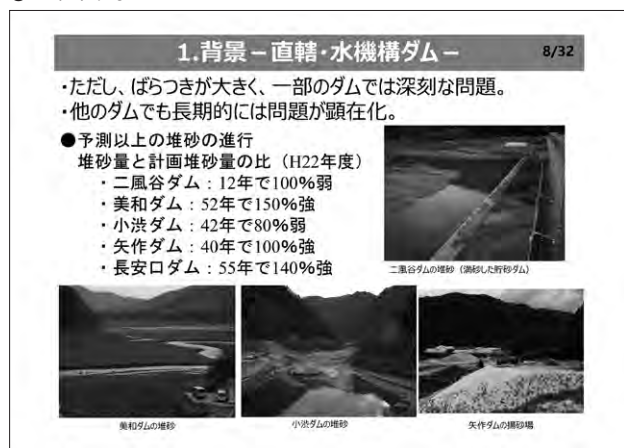
この111のダムについて、年間で平均に堆砂する量を合計してみますと、平成22年度までのデータで合計してみますと、大体1,300万 m^3 になります。これが計画堆砂容量の14億の大体1%以下になっておりますので、100年ということと1%くらいということで、全部おしなべて見ると計画に近い進行になっているという状況になります。

ただし一方で、時間的にも空間的にもかなりばらつきが多くて、一部のダムではかなり深刻な問題になっている。例を挙げておりますけれども、北海道

● スライド5



● スライド6



の二風谷ダムでは12年間で計画堆砂容量の100%弱ぐらいまでたまっている。美和ダムで50年ぐらいで150%、小渋ダムで42年で80%。先ほど話題に出てきました矢作ダムで40年で100%少し超えている。長安口ダムで55年で140%という感じで、一部のダムではかなり深刻な問題となっております。(スライド6)

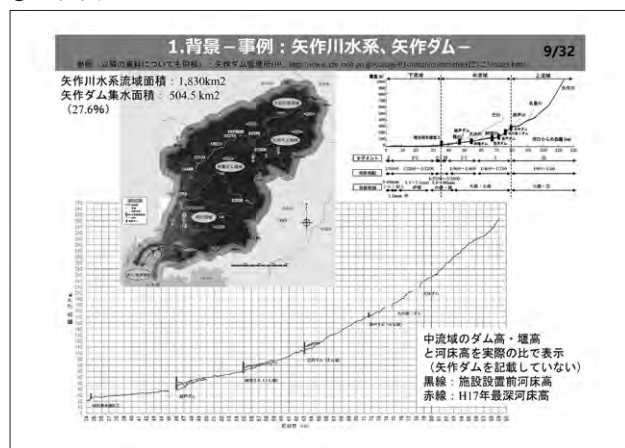
ここから事例としてよく話題が出てきます、矢作川水系と矢作ダムについてご紹介したいと思えます。こちらが矢作川水系の全体の流域図になっています。1,830 km^2 の流域面積を持っています。矢作ダムはこのあたりにございまして、504 km^2 ぐらいの流域面積を持っておりますして3割ぐらいが矢作ダムの集水面積になってございます。

こちらが海岸から山の上までの縦断形状を示したものです(スライド7)。この中の中流部のところに矢作ダムがございまして、さらに下流には中部電力さんが持っている発電の利水ダムがございます。この領域を拡大して書いたものがこちらの図になっております。ここでは矢作ダムを抜いて書いてございます。下の線が各施設をつくる前の河床高。上の線のほうは平成17年の河床高になっています。ここに見えているものはダムの高さを示しています。

この図はイメージ図ではなくて、ダムの高さと河床高の高さの比を合わせて書いてあるものになります。

ここに矢作ダムを入れてみますと100mぐらいのダムということで、この高さのものにこれぐらい土砂

● スライド7



がたまっているということで、下流と比べてみていただきますと、かなりインパクトがあるという感じになるかと思います。(スライド8)

続きまして、矢作ダムのところだけを堆砂形状を書いた図がこちらにあります(スライド9)。こちらにダムがございまして、ダムをつくる前の河床高がこんな感じ。平成16年の河床高は堆砂がたまっているという状況です。

矢作ダムの場合は、ここが最低水位でこの下が堆砂容量ということになります。夏期制限水位とサーチャージ水位がございまして、この範囲が治水容量ということになります。よくこのような図で堆砂の問題を議論されるわけですが、当たり前のことですけれども、高さを横方向のサイズの50倍にして書いてございましてこういった図になっています。これを実際の比にして書いてみますと、ちょっと見にくいですが、これがダム高で河床は10kmぐらいの長さになります。こうしてみますと、土砂を下流に持っていくという作業は、結構大変な労力が必要ということになります。

もう一つ、縦断面図で見ますと、貯水池に対してかなり土砂がたまっているイメージになるかと思います。実際はダムの底のほうがV字谷になっていて狭いということがございまして、ボリュームを、体積を面積に換算して書いてみますと10万 m^3 、100万 m^3 、1000万 m^3 、1億 m^3 ぐらいになりまして、矢作ダムは8000万の総貯水容量がございましてこれくら

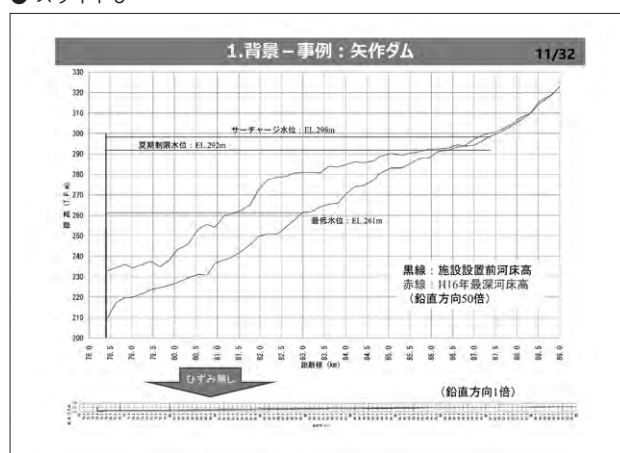
いのボリュームの貯水池になります。(スライド10)

計画堆砂容量というのは、1,500万 m^3 ございまして、点線の領域が計画堆砂容量ということになります。

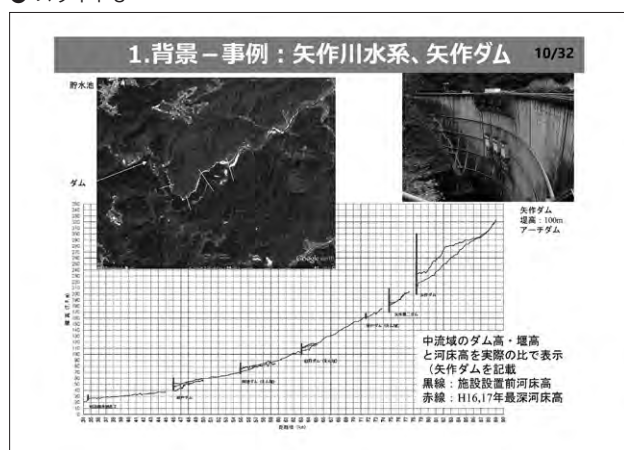
下の図は土砂のたまっている部分になりまして、計画堆砂容量の中にたまっているのがこれ(黒色部分)くらいございまして、有効容量の中にたまっているのがこれ(濃色部分)ぐらいあるということになります。入ってくる土砂としては年間の平均的な堆砂量を、できてからの平均的な量とすると、年に約26万 m^3 入ってきているということです。変動が大きくて平成12年の恵南豪雨のときには、既往最大に入ってきたものがありまして、これの10倍以上の280万 m^3 という量が入ってきています。ただし、矢作ダムでは近年少ない傾向がございまして、最近10年ぐらいですと9万 m^3 ぐらいが入ってきているという状況になっています。

次に2つ目の話題に移らせていただきます。「総合

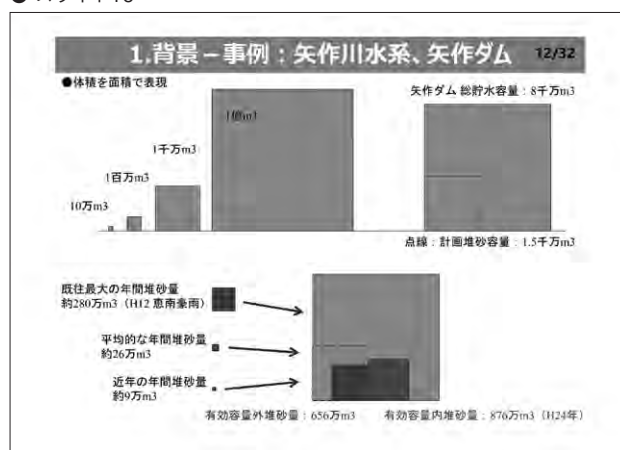
● スライド9



● スライド8



● スライド10



土砂管理におけるダムの位置づけ」ということです。

まず、土砂動態のモニタリングポイントとして重要ではないかということで、日本では総貯水容量が100万 m^3 以上のダムについては、堆砂量の調査を1年から3年おきに実施することになってございます。これが、国交省の通知に基づいて実施されている。これが約900のダムについてデータがとられている。国際会議などに行きますと、世界的にこういう詳細なデータをとっている国はほとんどない状況で、割と貴重なデータがとられているということになります。(スライド11)

またこれにボーリングなどを行って、粒度の調査をしたものを組み合わせて分析することで、これは一例ですけれども、粒度分布の把握が可能になってきて、堆砂している中に礫がどれくらいで、砂がどれくらい、シルト粘土がどれくらいかということも把握ができていくということで、流域の土砂動態のモニタリングが比較的精度よくできる場所ではないかと思われます。

追加として実際調べてみますと、かなり粒度分布はダムごとに異なっていて、こうした粒度構成を考慮して対策を考えていく必要があると思います。

次の位置づけとしては、水系において土砂流下のコントロールできる可能性を持っているのではないかと、こちらの図は水系の流域面積を横軸にとりまして、直轄水機構のダムがある水系について書いています。それに対してダムの集水面積がどれくらい

の割合かというグラフを書いています。多いダムは9割ぐらいを占めている。小さな水系でそういったものもございすけれども、5割ぐらいを占めているダムですとか2割から1割ぐらい。矢作ダムで3割弱を占めているという感じになります。(スライド12)

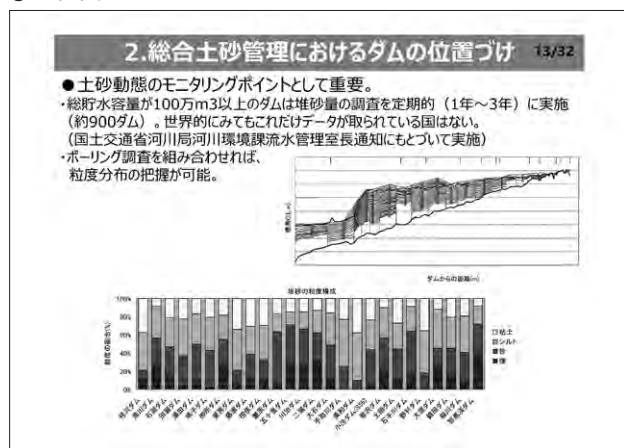
ここからうまく出す技術ができてくれば、土砂流下のコントロールができる可能性を持っているということが言えると思われます。

位置づけの最後の観点としまして、ダムの代謝が最も切迫しているのではないかとということで、これはほかの分野のほうが切迫しているというご意見もあるかもしれないんですけども、1つは堆砂によって、貯水池の上流付近の河床が上昇してしまっている。そこに市街地等がある場合氾濫しやすくなるということで、そういったことで訴訟が起きている事例などもあります。

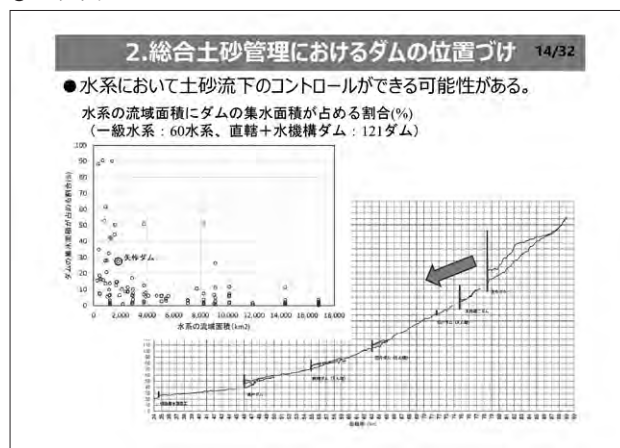
もう1つは実際対策をしているところでは、こういった土砂の採取、処理をしているわけですが、かなり費用がかかるということになります。

堆砂の除去と処理の単価というのは、工法、方法、どこまで運搬するかということでもかなりばらつくんですけども、おおむね1 m^3 当たり1000円～数千円。大きいところでは1万円というところもございすけれども、その程度のオーダーになっている。困っているダムでもし数万 m^3 を河道外で処理するということ、年間に数千万～数億円毎年かかるということになりますので、かなり費用がかかるということにな

● スライド11



● スライド12



ります。また河道外に持っていく場合には処分地の確保が、なかなか貯水池の近傍で見つからないという問題があったりですとか、こういったトラックが通ることで、騒音、振動、安全の問題等で限界があるといったところもございます。(スライド13)

次に3つ目の話題に移らせていただきます。土砂供給技術がどこまで進んでいるかということですが、まず土砂供給技術に求められる条件として少しまとめてみます。(スライド14)

まず環境への影響を配慮する必要があるということで、先程萱場さんから細かいご説明がありまして、ここでは雑駁な感じになっていますけれども、平常時に濁水を発生させるというのはなかなか難しいことがございます。また下流河道への影響に配慮する必要があるということで、求められる流量と供給土砂量の関係を満たすことが求められてくる。それをイメージで書いたものですが、ダムがなければ

ば時間と流量のハイドロでこのような出水が起きますと、おおむね流量に合ったような土砂の流れがあるということかと思えます。

それがダムがあることになると、こういった流入が来たときに、洪水調節をするハイドロに変化することになります。砂礫はほとんどダムができた下流に行かないという感じなんですけれども、下流のそれぞれの河川の状況に応じて、例えば流量見合いで出していくような方法もあるかもしれませんし、河川によっては最初のほうにオーバーシュートして出すような方法もあるかもしれない。このあたりはまた検討が必要なんだと思うんですが、こういったQ-Qsの関係が求められたときに、それを満たすことができる技術が必要になってくるということがあります。

そのほかには経済性ということでイニシャルコスト、ランニングコストを減らすこと。実現性、汎用性、効率性、安定性、施工性みたいなことを検討していく必要があると思います。

この後につきましては求められる条件のところで、4つの土砂の供給の調節能力と経済性と実現性と汎用性みたいなところで、今主にある技術についてご紹介したいと思います。ご紹介するのは既に実用化されているものとしては土砂還元、土砂フラッシング、土砂バイパス、開発中の技術として吸引工法のいろんな方式を取り上げてご紹介したいと思います。(スライド15)

● スライド13

2. 総合土砂管理におけるダムの位置づけ 15/32

- 水系において土砂供給による総合土砂管理を想定した場合、各領域の中で、ダムの堆砂がもっとも切迫した課題。
 - ・堆砂によって貯水池上流付近の河床が上昇し氾濫しやすくなる。(訴訟の事例あり)
 - ・土砂の採取(掘削・浚渫)、運搬、処理の費用。
- 堆砂の除去と処理の単価は工法、方法、運搬距離の条件によって大きく変化するが、1m³当たり千円～数千円程度。
- 数万m³を河道外で処理する場合、年間に数千円～数億円のコストが必要。
- 処分地の確保の問題(貯水池の近辺で適地が見つからない)
- トラック輸送の環境問題(騒音、振動、通行台数の制限等)



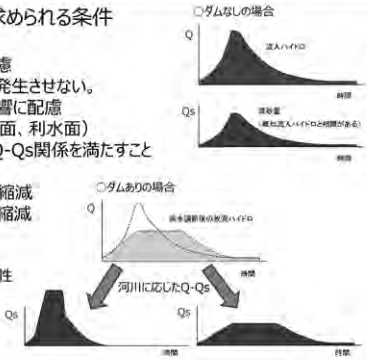
長安口ダムの堆砂状況の状況

● スライド14

3. 土砂供給(排砂)技術はどこまで進んでいるか? 16/32

土砂供給技術に求められる条件

- 環境への影響に配慮
 - ・平常時に濁水を発生させない。
 - ・下流河道への影響に配慮(治水面、環境面、利水面) → 求められるQ-Qs関係を満たすこと
- 経済性
 - ・イニシャルコストの削減
 - ・ランニングコストの削減
- 実現性
- 汎用性
- 効率性、安定性、施工性



□ ダムなしの場合

Q

Qs

時間

流量

時間

流量

時間

流量

● スライド15

3. 土砂供給(排砂)技術はどこまで進んでいるか? 17/32

土砂供給技術に求められる条件

- 下記の主な技術について概観・比較
 - 実用化された技術
 - ・土砂還元(置き土)
 - ・土砂フラッシング
 - ・土砂バイパス
 - 開発中の技術
 - ・吸引工法(固定式)
 - ・吸引工法(表面設置型)
 - ・吸引工法(移動式)

項目1	項目2
土砂供給 調節能力	最大放砂量 タイピング の調節 緊急停止
経済性	イニシャル コスト ランニング コスト
実現性	出水前 の準備
汎用性	ダム全線へ の適用性

置き土につきましては、こちらは下久保ダムの下流の置き土です。ここは人工的な洪水を起こしてそのときに土砂を供給しているという事例になります。2011年に国土交通省の河川局から土砂還元マニュアルというものが公表されておりまして、このマニュアルに基づいてかなり精力的に実施されているという状況です。平成20年の時点で約30の事例がございまして、現在もそれぐらいかと思えます。(スライド16)

最大では十数万 m^3 での土砂を置いている事例がございすけれども、大半は、下久保ダムもそうなんだけれども、数千 m^3 とか数百 m^3 ぐらいになっています。なかなか堆砂対策を目標とするのは難しい面もございまして、環境改善を目標にされている事例が多いかと思えます。

最大の例は、先ほど萱場さんの説明にも出てきました。実はご一緒させていただいて現場に行ったん

● スライド16

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？18/32

土砂還元（置き土）

- ・2011年3月、国土交通省河川局より、「下流河川土砂還元マニュアル（案）」公表。
- ・平成20年時点で約30の実施事例（参照：上記マニュアル）。
- ・最大で十数万 m^3 の土砂を置いている事例があるが、大半は数百～数千 m^3 。
- ・環境改善を目標とする場合が多い。




下久保ダム下流の置き土（2010年7月）
フラッシュ放流にて流送

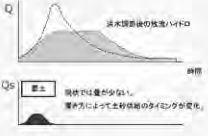
長安口ダム下流の大規模な置き土

● スライド17

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？19/32

土砂還元（置き土）

項目	項目	土砂還元
土砂供給調整能力	最大供給量	◎ 洪水時に依存 ※ 洪水に大きく依存
	タイミングの調整	△ 洪水に大きく依存
	緊急停止	△ 可能
経済性	イニシャルコスト	◎ 小さい
	ランニングコスト	△ 調整、運搬が必要
実現性	治水時の実施	◎ 実施あり
汎用性	ダム全般への適用性	◎ 対応しやす



洪水時の土砂供給量と貯水位の関係

洪水時は量が少なく、洪水後により土砂供給のタイミングが変化する。

- ・土砂供給は、置き土の設置方法によりある程度制御ができるが、河川の流量に大きく依存。
- ・大規模な施設が不要でイニシャルコストが小さく、適用しやすい。
- ・ランニングコストはある程度必要。

ですけれども、長安口ダムについては十数万 m^3 、大規模な置き土をしているところがございます。ここが最大だと思います。

置き土につきましては、最大の供給量ということろはたくさん置けばたくさん供給できるということになります。供給量のタイミングみたいなものは洪水に大きく依存するということで、洪水を待って出すということになります。あと土砂供給を緊急にとめたいといったときにはとめることはできないということになります。(スライド17)

経済性の観点から見ると、イニシャルコストは、うまくサイトがあればすぐ始められるということでコストは小さい。ランニングコストについては掘削・運搬が必要ですので、かなりの費用がかかるということになるかと思えます。実現性は実績があって、できる。汎用性についてもいろんなダムでできるということかと思えます。

現状ではなかなか量が少ないので、出水の初めてのところに出るような感じになっていると思います。

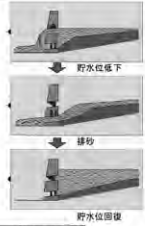
2つ目の技術として、土砂フラッシングですけれども、こちらはダムの堤体に排砂設備をつくりまして、洪水が起きたときに貯水位を下げたダムを一旦空にして土砂を流してまた回復するという方法になります。土砂フラッシングについては、実績は日本では2ダムで、両方とも黒部川ですけれども、出平ダムという関西電力のダムと中部地方整備局の宇奈月ダムの2つになります。(スライド18)

● スライド18

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？

土砂フラッシング

- ・実績：2ダム
- 出平ダム：関西電力
- 宇奈月ダム：中部地方整備局
- ・年間数十万 m^3 の土砂を排砂している（出平ダム）。
- ・堤体に排砂設備を設置する場合、貯水位の大幅な水位低下が必要。
- ・流量の大きい黒部川、堤高の小さい発電用ダム等で採用（宮崎県、耳川、九州電力のダム群で実施予定）。



貯水位低下

排砂

貯水位回復



出平ダムの排砂実績

※ 出平ダム「ダム貯水位における排砂設備とその対策（第4回）」
一社し平ダム、他ダムでの取り壊し後一社。電力土木、2012



宇奈月ダムの排砂設備

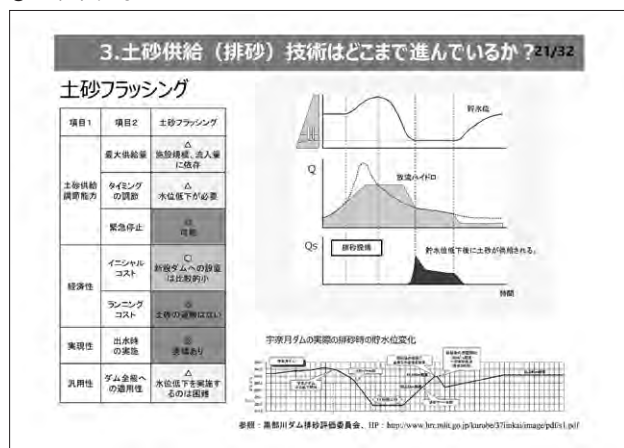
実績は、出平ダムの例を挙げさせていただいてますけれども170万とか数十万 m^3 の土砂を流しているということで、かなり大量の土砂を排出できる方法になっています。

ただし、堤体に排砂設備を設置する場合は、貯水位を大幅に下げる、ほぼ空にする必要があるということで、例えば流量の大きな黒部川ですとか、あとは、堤高の小さい、容量の小さい発電用のダムなどで採用される計画がございます。

土砂フラッシングの特性としましては、貯水位と流量と土砂供給を示したものです。運用としては出水が終わったところで水位を低下して、このところこの流量で土砂を流してまた回復するというところで、流量としては後半に集中するような感じになります。調節能力としては施設の規模とか流入のハイドロ、この流量とかに依存している。タイミングについては、水位低下をする必要がございますのでちょっとピークからは遅れる。ただ、緊急停止はゲートを閉めればいいのでできるということになります（スライド19）

イニシャルコストについては、新設ダムにつくる場合は割と頑丈なゲートをつけるのでちょっと高いのは高いですけども、比較的小さい。ランニングコストについては、施設の操作だけなので比較的安い。実現した実績があるというのと汎用性について、水位低下を行うことができるというダムは日本には少ないので、なかなか適用性が小さいということに

● スライド19



なります。

実績のあるものの3つ目としては、土砂バイパスになります。土砂バイパスは美和ダムの例ですけれども、ダムがあり、貯水池がございます。貯水池の上流のところに分派堰を設けまして、出水時にここから地山に掘ったトンネルを通して土砂を含んだ水を下流に流すという手法になります。実績は、2ダムございまして、こちらに関西電力の旭ダムと美和ダムになっています。（スライド20）

こちらが旭ダムの実績です。小さくて見にくくて申しわけないんですが、大体年間数万 m^3 の土砂を排砂しているという実績がございます。

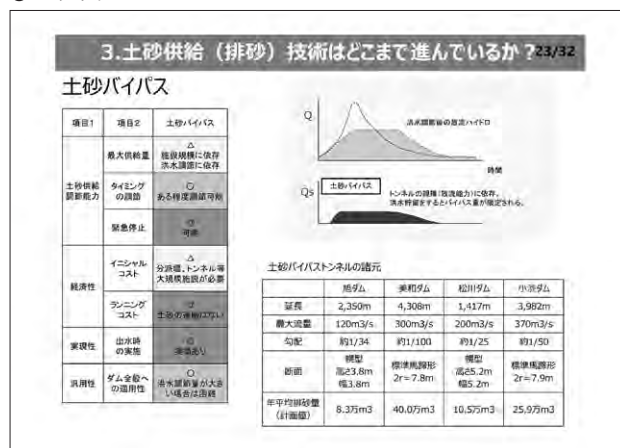
建設中のダムとして、松川ダムと小浜ダムがございます。この松川、美和、小浜は全て天竜川のダムです。全部で4つの例があるということになります。

バイパスにつきましては、放流する量についてこの範囲の中で放流をする。ただ上限値はトンネルの

● スライド20



● スライド21



放流能力に依存するということ。上流のほうからバイパスする場合は、流入量にも規定されて、使える水が規定されるということになります。

最大供給量については、大きな施設をつくれば多くなるということですが、ダムの洪水調節の方法にも依存しているということになります。(スライド21)

タイミングの調節については、ある程度開け閉めができますので可能となっている。緊急に止めることもできる。

経済性につきましては、イニシャルコストは分派堰、トンネルをつくる必要がございますので、かなり大規模な施設をつくらないといけない。ランニングコストについては、土砂を運搬する必要はない。

実現性については実績があるということと、汎用性については、もし洪水調節をピークのときに9割とかをカットするようなダムですと、なかなか難しいというところがございます。

今は4つダムがございますけれどもトンネルは2km、1.5km、4kmぐらいとかなり長いトンネルになっていまして、最大の流量としては数百 m^3/s 。小渋ダムの最大のもので370 m^3/s くらいになります。

勾配も比較的急勾配でないと土砂が流れないということがございまして、急勾配になっている。

断面としては旭ダムは4mぐらい、美和ダム、小渋ダムは8mぐらいになります。

年平均の排砂量、計画時点の量としては数万 m^3 か

ら数十万 m^3 出すということになります。

美和ダムぐらいのトンネルをつくると、イニシャルコストとしては数十億円かかるということで、それはちょっと高いということになります。

ここから先はちょっと開発中の技術ということになります。

吸引工法と呼ばれるものがかなり研究されております。基本的には貯水池の上下流の水位差のエネルギー、ほかの動力でもいいんですけども、この水位差を使えばかなり安く土砂を出せるのではないかと考えるのみに検討されています。(スライド22)

パイプを使うんですけども、パイプの大きさの想定としては数十cmから1m程度の管を用いて、数百 ℓ/s とか数 m^3/s ぐらいの比較的小さい流量で濃い土砂を出すという方法になります。下流ではダムからの土砂を含まない水と混ざって河道に行くということになります。

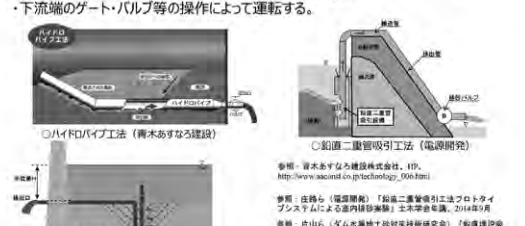
固定式の主な例としては、青木あすなろ建設さんがやっているハイドロパイプ工法、電源開発さんが開発されている鉛直二重管吸引工法、ダム水源地土砂対策技術研究会さんが開発されているような、鉛直埋設吸引管排砂工法といったものがございしますが、共通しているのは初期に堆砂の中に装置を設置しておいて、下流のゲートを開けることで水が高いところから低いところへ流れるエネルギーを使って、掃除機のような原理で土砂を吸うといったものになります。

● スライド22

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？24/32

開発中の技術：吸引工法（固定式）

- ・貯水池上下流の水位差のエネルギー（他の動力でも可）を用いて土砂を吸引し排出。
- ・管径数十cm～1m程度の管を用いて数百 L/s ～数 m^3/s の比較的小さい流量で、高濃度(数%)の土砂を排出（下流ではダムからの放流量と混合して濃度を薄める）。
- ・固定式では、初期に堆砂中に装置を設置する必要がある。
- ・下流端のゲート・バルブ等の操作によって運転する。



○ハイドロパイプ工法（青木あすなろ建設）

○鉛直二重管吸引工法（電源開発）

参照：青木あすなろ建設株式会社、11P、http://www.asunaro.co.jp/technology_006.html

参照：佐藤ら（電源開発）「鉛直二重管吸引工法プロトタイプシステムによる室内排砂実験」土木学会論文、2018年9月

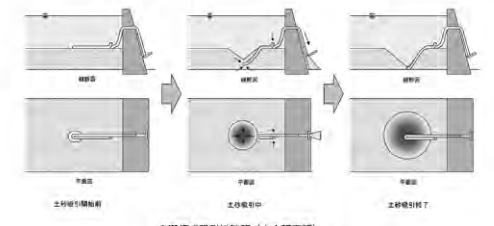
参照：山田ら（ダム水源地土砂対策技術研究会）「鉛直埋設吸引管排砂工法（ダム水源地土砂対策技術研究会）」土木学会論文、2017年

● スライド23

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？25/32

開発中の技術：吸引工法（表面設置型）

- ・固定式と類似しているが、パイプに柔軟性を持たせ、初期には堆砂面の表面に設置する。



○潜行式吸引排砂管（土木研究所）

次が表面設置型というものです。こちらは土木研究所で私も携わったんですけれども、潜行式吸引排砂管というものです。原理は固定式と類似しているんですけれども、パイプに柔軟性を持たせて、初期に堆砂の上に置いて管が自分で沈んでいくようなことで排砂をするような方法になります。(スライド23)

3つ目が移動式と呼ばれるものです。ちょっと浚渫と似たような手法で吸引管を移動させることで広い範囲の土砂を吸引するということです。水位差を使ってコストを低減するというアイディアは同じものになります。吸引管の先端に土砂を攪拌するためのカッターのようなものがついている技術もご紹介します。(スライド24)

こちらは青木あすなろ建設さんのハイドロJ工法、ダムドレさんのサイフォン排砂システムというものがご紹介します。管を動かして土砂を吸うというところで、出水中に土砂供給をするということを考えると、操作とか運用が安全にできるかといったところが少し課題になっています。

ここから吸引工法の課題ということで、大きく2つ課題がご紹介します。1つは塵芥です。こちらは、小渋ダムの貯水位が下がったときの堆砂の写真です。こういった沈木が見られたり、矢作ダムで浚渫をしているんですけれども、そのときに浚渫のパイプの飲み口のところにこういった流木やゴミが引っかかるということがございまして、堆砂の中にはこういったものがある。そうすると土砂吸引の効率が

下がったり閉塞したりといったことが懸念される。実際にこういったもので効率が下がったり閉塞したりというのは、現地試験などでも確認されている事例がございます。(スライド25)

実際の貯水池の流木量の調査というのはなかなかないんですけれども、一部で行われたものでは、土砂の量の100分の数%ぐらいということで、少ないようなイメージですけれどもそういった情報もあります。例えば固定式の方法ですと同じ位置ですと吸引を続けることになりますので、ここで散らばっていた流木が集まってきてしまうということで、なかなか対策は難しいという課題がございます。

もう一つの課題としましては、粘性土というものがご紹介します。吸引工法は土砂がある程度小さい水中安息角、砂礫等ですと30度ぐらいで崩落してくることを期待しておりまして、粘性土が混入した土砂ですとこれが大きくなって、なかなか広い範囲の土

● スライド25

吸引工法の課題「塵芥」 27/32

- ・貯水池の堆砂中には、流木（沈木）、巨礫、ゴミ等の塵芥が存在しており、これにより吸引工法の土砂吸引の効率の低下、吸引口の閉塞が懸念される。
- ・上記の現象は実験や現地試験でも確認されている。
- ・実際の貯水池の流木量の調査例で、土砂の100分の数%程度といった情報があるが、同じ位置で吸引を続けると、塵芥が集積し、対策が難しい。

小渋ダム貯水池上流部の堆砂 実験結果のイメージ図（表面設置型）

矢作ダム浚渫時の塵芥

● スライド24

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？26/32

開発中の技術：吸引工法（移動式）

- ・浚渫と似たような手法で、吸引管を移動させることによって土砂の吸引を行う。
- ・貯水池の上下流の水位差のエネルギーを用いることでコストを低減。
- ・吸引管の先端に土砂を攪拌するためのカッターを有するものもある。
- ・出水中の操作・運用が安全にできるか課題がある。

ハイドロJ工法 (青木あすなろ建設)

サイフォン排砂システム (ダムドレ)

参照：青木あすなろ建設株式会社、HP (http://www.asunaro.co.jp/technology_001.html)
参照：株式会社ダムドレ、HP (http://www.damdre.com/lovek1.html)

● スライド26

吸引工法の課題「粘性土」 28/32

- ・吸引工法は土砂がある程度小さい水中安息角（30°程度）で崩落してくることを期待しているが、粘性土が混入した土砂では、安息角が大きくなり、広範囲の土砂が吸引できない。
- ・移動式では対応可能であるが、装置の移動操作が頻繁になる。

水中安息角が大きく、土砂がすべり状に崩れてこない。

砂が吸引できないということがございます。(スライド26)

これは実際の実験事例です。田んぼの泥のようなイメージをしていただけたらと思います。吸引をしてもまっすぐに掘れて、周りが崩れてこないということがございます。移動式の方法ではこういったことに対応できるかと思いますが、まっすぐにしか掘れないとなると、移動式も操作の回数が増えるということになります。

そういった課題には、技術開発をして対策をするということも一方であるんですけども、早期に対策を考えるということになると、土砂を非洪水時に一旦貯水池の中で浚渫をして動かして、その際にそういった塵芥や粘性土を除去することで吸いやすい土砂を準備して、出水が起きたときにそれを出すといったことがひとつ対策として考えられるかなと思っております。ただそうした場合は、もともとコストを安くすることを目的としていたんですけども、一手間かかるということでコストはちょっとかかるということになる。

湖内移動とか塵芥除去の効率化を考えると、こういった作業の濁水対策などが必要になってくるかなということです。(スライド27)

吸引工法についてですけども、こちらは使う流量も少ないので、貯水池の運用には左右されずに好きなきときに出せる。これは、ちょっと極端に書きましたが、好きなきときに出してとめるということ

とはできるということです。(スライド28)

最大の供給量については単独の施設は少ないんですけども、予算との関係になりますが、複数つけることである程度増やすことができる。

タイミングは、緊急停止はできる。

イニシャルコストは、ダムのところにつけるようなものと比較的少ないんですけども、例えば土砂がたまっているところまでトンネルを掘っておいてそこに吸引するような方法を考えますと、パイパスほどではないですけどもトンネルをつくる必要があるということになります。ランニングコストについては、先ほどのような一次処理までを行うと少し高くなってくる。

実現性につきましては、今のところ工法も実績が出水時に行ったような実績はないというところと、あと移動式は出水時にできるかというのが課題になっています。

汎用性については、貯水池の運用にはあまり影響はないということになります。

以上、まとめてみますと、実績のある工法につきましては、再度合わせて書いているところですけども、たくさんの土砂を出せる工法ではあるんですけどもタイミングのコントロールとかはなかなか難しいところがございます。あといろんなダムに適用する場合に条件が厳しいところがある。開発中の候補についてはタイミングなどはかなり制御できると考えられていますけれども、実現性のところでは

● スライド27

課題への対策案

29/32

- 土砂を非洪水期に湖内移動し、障害となる塵芥、粘性土を除去（1次処理）する。
- 洪水時に土砂排出を実施する。

○当初目的としていたコスト縮減の効果が小さくなる。

○湖内移動、塵芥・粘性土の除去の効率化が必要。

○湖内の濁水対策が必要。

非洪水期に堆砂の1次処理を行い貯水池内に仮置きする

仮置きの完了

洪水時に吸引工法を用いて土砂を排出

排砂終了

● スライド28

3.土砂供給（排砂）技術はどこまで進んでいるか？30/32

開発中の技術：吸引工法

項目	課題	吸引工法（固定式）	吸引工法（移動式）	吸引工法（移動式）
土砂供給 設備能力	最大供給量	○ 単物排出の量ばらばら （吸引数で調節可能）	○ 連続排出の量は一定 （吸引数で調節可能）	○ 連続排出の量は一定 （吸引数で調節可能）
	タイミングの調節	○ 吸引可能 緊急停止	○ 吸引可能 緊急停止	○ 吸引可能 緊急停止
経済性	イニシャルコスト	○ 比較的小さいが、トンネル等の組合せでは大	○ 比較的小さいが、トンネル等の組合せでは大	○ 比較的小さいが、トンネル等の組合せでは大
	ランニングコスト	△ 1次処理を行うと大	△ 1次処理を行うと大	△ 1次処理を行うと大
実用性	出水時の濁水	○ 濁水でない 塵芥・粘性土	○ 濁水でない 塵芥・粘性土	○ 濁水でない 塵芥・粘性土
	ダム全線への適用性	○ 貯水池に吸引工法は （土砂を動かす）	○ 貯水池に吸引工法は （土砂を動かす）	○ 貯水池に吸引工法は （土砂を動かす）

洪水期間の流量（平均）

吸引工法

貯水池の運用に左右されずに土砂供給が可能

堤体に装置を設置する場合

土砂輸送トンネルを設置する場合

とか、課題の解決をしていく必要があるというところでございます。(スライド29)

最後ですけれども、土砂供給のコントロール、こういった河川に応じて求められる土砂供給をするということで、そういった面からまた技術を再評価してみるということ。それぞれの技術に特性がありますので、組み合わせてこういったQ-Qsを実現していくという検討、コスト削減のために検討して技術開発をしていくといったことがあります。(スライド30)

あとはなかなかたくさん土砂を実際に出すと、かなり費用がかかってきます。その費用を支出するための便益というか根拠を整理していくのも重要なのかなと思います。また下流の関係者との合意形成をしないと実現できないというところで、これは皆さんおっしゃるところですけれども、こういった課題があると思っています。

わかりにくいところもあったかもしれませんけれども、以上とさせていただきます。

<質疑応答>

質問者1 土砂供給技術の工法の評価等を行っているわけですが、どちらかというと量的な観点での評価が基本になっているような感じがしました。例えば流域とかダム地点によっては下流に供給する土砂の粒径とかそういったものがもしあった場合に、土砂バイパスですとか吸引工法等はどの程度までの粒径に対応できるとかそういった評価は、別途で何かやられているのでしょうか。

櫻井 重要な指摘をいただきましてありがとうございます。今回そのところは抜けてしまっていて、申しわけないんですけれども、土砂還元については、置く土砂で選択的にできますので、粒径はある程度コントロールできる。実際なかなか粘性土を下流は求めていないというところがございます、砂礫が置かれていることが多いと思います。

土砂フラッシングはなかなかコントロールができないので、入ってきたものがそのまま出ていくという形になると思います。

土砂バイパスは、こちらの表で旭ダム、松川ダム、小渋ダムにつきましては、入ってくる土砂全部というか、砂礫も含めて下流へ供給するようなタイプの施設になっておりまして、美和ダムにつきましては、分派堰のさらに上流に貯砂ダムをつくって大きな砂礫はそこでとめてシルト、粘土をたくさん出すような設備になっていますので、施設のやり方によってある程度のコントロールができる感じかと思っています。

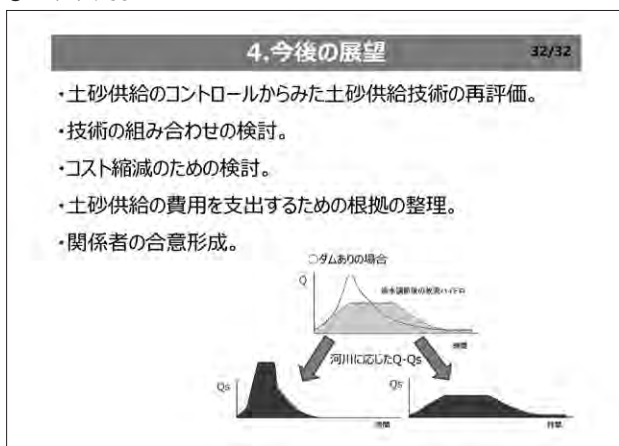
吸引工法については、現時点では基本的に砂礫を対象にしている、シルト、粘土についてはなかなか難しいという状況だと思います。あと巨礫もなかなか難しいということで、砂から小礫ぐらいまでのものを対象にしているという状況になります。

質問者1 ある意味で最後に今後の展望の中で技術の組み合わせの検討というのは、そういったところにもつながっていくという、現在のところの理解で

● スライド29

3.土砂供給(排砂)技術はどこまで進んでいるか 31/32						
・土砂還元(置き土)、土砂フラッシング、土砂バイパスは実用化され、効果を発揮しているが、コスト、土砂供給のコントロール等に課題もある。 ・コスト低減、土砂供給のコントロールの実現を目指して技術開発が行われているが、課題がある。						
項目1	項目2	実績のある工法			開発中の工法	
		土砂還元	土砂フラッシング	土砂バイパス	吸引工法(固定式)	吸引工法(移動式)
土砂供給 削減能力	最大供給量	置き土に依存 河川に流量に依存	河川に依存 河川に流量に依存	河川に依存 河川に流量に依存	河川に依存 河川に流量に依存	河川に依存 河川に流量に依存
	タイミング の調整	流量に大きく依存	水位低時が必要	ある程度調整可能	調整可能	調整可能
	緊急停止	不可	可	可	可	可
経済性	イニシャル コスト	低	中	中	高	高
	ランニング コスト	低	中	中	高	高
実現性	出先時の 実施	可	可	可	可	可
	汎用性	ダム全線への 適用性	可	可	可	可

● スライド30



よろしいでしょうか。

櫻井 粘土、シルトなどについては、土砂バイパス
みたいなものが、かなり流量によって有効ですけれ
ども、そこに吸引工法を組み合わせるとか、置き土
を組み合わせるとかそういったこと。巨礫について

置き土で補うとかそういった土砂ごとに合わせて、
状況に合わせて技術を組み合わせていく検討が必要
かと思います。

質問者1 ありがとうございます。

〈全体討論〉 「総合土砂管理に明日はあるのか」

パネリスト

国土技術政策総合研究所 研究総務官

藤田 光一氏

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長

服部 敦氏

国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室長

諏訪 義雄氏

独立行政法人 土木研究所

水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員

萱場 祐一氏

国土技術政策総合研究所

河川研究部大規模河川構造物研究室 主任研究官

櫻井 寿之氏

藤田 改めましてよろしくお願いします。国総研の藤田と申します。

最初に事務局のほうからお話があったとは思いますが、内田太郎さんが講師で予定しておりましたけれども、本日でちょうど1週間たちますけれども、広島市の非常に大きな災害の対応で国総研は土木研究所とともに現地でテックフォースとして、さまざまな技術的な支援をしております、彼も第2陣で今週頭からずっと現地に行っていて、ここに戻る状況ではないという連絡がありました。内田君も大変残念がっておりましたけれども、皆様にぜひよろしくということでしたので、改めまして皆様のご理解を賜ればと思っておりますので、ご報告をさせていただきます。

それでは1時間強ですけれども、今ご紹介をいただいた全体の議論をさせていただければというふうに思います。国総研と土研のいわゆる流砂系、総合土砂管理にかかわる研究、あるいはいろんな技術的な検討をしている人間に順次私も含めて、話をさせていただきました。

水系という意味では共通しておりますけれども、山のほうから海まで一堂に会して、「明日はあるか」というのはちょっと過激かもしれませんが、趣旨としては総合土砂管理、河川屋的には1丁目1番地と

いうか、何となく心のコアという言い過ぎですけども、これがすごく重要ではないかとずっと皆様が思ってきていることがあろうかと思えます。

しかしながら、それが現実世界で元気よくできているかという、さまざまな努力がなされ、それぞれ実績も出てきておりますけれども、いわゆる総合土砂管理というものが目に見える形で世の中に認知されているかということになりますと、まだまだ課題があるかと思えます。その点は前向きなスタンスをとりつつも、あまりお題目で「うまくいっています」という世界ではなく、やはり我々の技術でどこまでわかっていて、何が足りなくて、という技術の面と、それからこういう総合土砂管理という1つの施策を進める上で、もう一段ブーストするには何



がネックなのか。それをどういう方向でトライして隘路を突破していけばいいのかということについて、皆様方となにがしかの、ひとつ頭に引っかかるものがこの1時間ぐらいで残ればいいのかという趣旨です。

国総研、土研が今回こういう機会を与えていただいて、我々が代表で出ささせていただきまして大変ありがたいと思っています。我々の知見だけでこの総合土砂がうまくいくとはとても思っておりません。今日ご参集いただいている皆様の力も含めて、いろんな方の知見が必要かと思います。そういう意味で私も含めてここにいる人間に聞くというよりも、我々の題材を1つのネタに使っていただいて、皆さんの頭をブラッシュアップする機会にさせていただければと思っています。

それではよくやるやり方ですけれども、全体を通してでも個別でもいいんですけれども、皆様からぜひこういうことはどうなんだというご質問、あるいはご意見を改めてまずお聞かせいただいて、それは1つのきっかけに、個別でもいいですし、誰に聞いていいか難しければ、私に言っていただければ適当に振ります。あまり無茶振りはするなと言われておりますが、そこは身内ですから遠慮しませんから、もうそういう趣旨に沿っていれば何でも結構ですので、ぜひこういうことはどうなんだということを皆さんからお聞かせいただければということで始めたいと思います。

では、どなたでも結構です。きついところからでも柔らかいところからでも結構ですから、よろしく願いいたします。いかがでしょうか。せっかく参加していただいているのに聞いているだけだともったいないと思いますので、ぜひアクティブにご発言いただけるとありがたいと思っています。ちょっとやりにくいかもしれませんが。

所属とお名前をよろしくお願いします。

質問者1 私の経験したことのあるダムで、砂がたまっていて砂を出した、ダムとしてはどんどん出していけないと間に合わないからとにかく出してい

く、という中で、さて下流のほうに行ってみると、今度は閉塞しちゃっているから掘っていますというようにお話もある。総合土砂管理なので、海のほうはもっと砂があったほうがいいんじゃないとか、いろんな考えがある中で、ダムは出して下流は掘っていてというみたいな、そういうところの調整みたいな論議とか議論はあるんでしょうかということをお伺いしたいんですが。

藤田 その具体の事例はよくわからないんですけれども、もしもダムから目に見える形で砂をどんどん出して、下流の河道が変わってさらに河口なのかわかりませんが、地形が顕著に変わっている面もそして課題も見えてきているということであれば、当然そういうことはやらないといけないと思います。

そのケースかどうかはわかりませんが、そういう総合的な調整をする貴重なケースではないかというふうに逆に思いました。

私がむしろ思っていたのは、今日の話もそうなんですけれども、私たちは、直轄、水機構の比較的大きな水系を扱っているの、先ほど櫻井さんからのお話がありましたが、置き土をしても流されましたとか、なかなか大規模にダムから土砂を出すというのは難しいと思います。

ということでやろうとはしているんだけれども、出した効果が川をこう変えてこういう課題があるということを明確に理解するようなものはまだまだケースが少ないものですから、そういうことをやらないといけないという明確な切迫感を持って現場に当たるといってケースのほうが少ない感じがしていました。むしろもしそう目に見えたものがあるのであれば、どんどんそういう検討しないといけないのではないかなというのが、まず私の思ったりアクションですが、それに引き続いてどうでしょうか。

質問者1 たぶんダムを管理されている現場の方は、たまってしまってもう出さないといけないからとにかく出したいというようなところがあると。今日聞かせていただいたような、流すのだったらこうしな

いといけないみたいなことも考えないといけないんだと思いますけれども、実際既にどんどん下流に流しているところがあるというときに、下流のほうとか全体の調整みたいなものはどうなっているのかなと思ひまして、伺っています。

藤田 それはまさにこういう総合土砂管理をやる大事なターゲット、やらなければいけないフィールドだと、お話だけを聞いて、正に感じました。

今日はまだ途上ではありますが、少しずつ技術のつながりとして砂に着目すれば、下流に対して砂が悪い影響を最小化して、むしろいい影響を最大化するために、技術的にはどんな量にあるいは関係式、そういうものに着目してやればいいのかというのが少しずつ見えてきていて、何度もQ-Qs、流量と砂なら砂の量、毎秒当たりどれくらい出すかというそのQ-Qsという関係性をひとつのコントロールの軸に技術の体系ができないかということが、幾つかある中の1つの共通の技術のポイントになってきたのかな。

それをダムのサイドは、こういう排砂工法であれば、こういうQ-Qsをうまく達成できる。逆に川のほうから、あるいは溪流のほうからは、やはり環境上、悪影響を最小化してむしろいい影響を最大化するためには、こういうQ-Qsが欲しい。

たぶん諏訪さんのところの海岸まで行くと、Q-Qsは河口まで行くとなじんできちゃうので、やはりボリューム的には最後砂の海岸の復元につながるような量が全体でこれくらい欲しいとか、そういう具体的な量を技術的な意味のある量を出し合いながら、うまく調整がつくのかどうかという具体的な議論をしていくというのが、ひとつの技術的な道筋なのではないかというあたりが、今までの4回のお話の中の1つの技術的な共通基盤になりつつあるのかなと、そんな感じがしています。

むしろそういうことやらないといけないフィールドがあれば、私たちもそうですけれども、そういうもののご相談をいただいて、やはり技術的にこうやったらいいんじゃないかというようなことをどん

どん提案しないといけないですし、我々だけではなくてそういう実際に問題が出ているフィールドがあるのだったら、どうしたらいいのか。やはりみんなで技術的に調整する。そのベストなる技術的な評価をするということをどんどんやっていくのかなというような印象を持ちました。

皆さんの中で、今のお話についてコメントでも意見でもいいですけれども、どうでしょうか。

服部 どうもありがとうございます。大きな枠の話について、今藤田さんにお話しいただいたとおりだと思います。しいて私のさせていただいたお話の中では、それをどう見ていくかというお話の中で、パターンだとかいって縦断分布図を書かせていただきました。例えば、上流から土砂を多く出したからといって、それが今の河道の中で溜まるということは、果して本当に出した土砂が、浚渫土砂量をすぐプラスにするような方向に働くのかどうかというのは、やはり受け皿である河道の状況によってずいぶん違うみたいなお話をさせていただきました。

そういった分析をすると、先ほどおっしゃっていたのは、本当にこの量を出すことが、河道にとってどれだけ溜まる量を増やしてしまうのか。または海岸に必要な量に対してどれだけ寄与があるのかということを考えていくひとつのポイントだと思います。やはり、河道は真ん中に挟まっています、そこでいろんなことが起こってしまって、上から出したものをいろんな変換してしまって、最後河口前でどうするかということなので、大切なポイントだと思います。その見方がちょっと雑になっていると、ダムから出した、河道で絶対溜まる、出ないというそういう議論になってしまうとちょっともったいないなと思いますのでそこを短絡化させないでいくということが非常に重要かと思っていますので、ぜひ検討をしていただければと思います。

萱場 関係しているかどうかかわからないんですが、今日お話ししたのはどちらかというと、ダムの下流すぐみたいところを対象にしてやっていたんです。そこは何となくどんな現象が起きるかというこ

とは予想がついて、それをベースに評価方法を組み立てています。

もっと下流に行ったときに、昨今の河川の河床低下の状況などにかんがみると、もっとこれだけ流してほしいとか、川のほうからリクエストして途中どういうふうに通過させるかという議論もあるんですが、下流のほうの生態系サービスを最大化するような、そんなことも少し考えて出すほうにリクエストしていくみたいな話も当然あっていいのかなという気はしています。

だけどまだちょっとそこは追いついていなくて、今日はネガティブな部分をどうミチゲート（緩和）するかという話が多かったですねというコメントをいただいたんですが、まさにそこにきゅうきゅうとしていて、土砂を出すことによって薔薇色の世界になるというところの評価がまだ抜け落ちているかなというふうに思っています。そこをこれから少し掘り下げていくことが必要なのかなということが、宿題ではないでしょうかということです。

藤田 今のやり取りでまた皆さんから何かありますでしょうか。違う流れでもいいんですけれども。

今のを引き取ると、服部さんの話の中で、私は出られなくて申しわけなかったんですけれども、供給土砂量を明示的に設計条件に加えることは、特効薬になり得ないという一言が目につきました。環境の話はそれとして、やはり今の萱場さんの話も比較的技術的に検討しやすいダム直下、ダムの影響がメリハリが効いて出てくる場所のお話で、ある程度ものができつつあるという話だったと思います。

もうちょっと下流のいわゆる堤防がある沖積平野の一級河川の管理区間のようなところの河道にとって、こういう粒径のこれくらいの土砂を流してほしいということを河道の管理とか環境、あるいは治水上の管理、あるいは景観の管理ですね。それを言うのはそういう観点で難しいというのが服部さんの結論なんでしょうか。

服部 ひょっとしたら、マクロな量はあるのではないかと考えています。例えばかなり方針河道ぐらい

まで縦断的に川の幅をすごく太くするんだといったようなときに、その川幅程度になったら、これまでに比べると水位が下がり流速が出なくなりますから当然の話として、同じ洪水規模だったら土砂が運ばれにくくなってくる。その状態で今までの状態でいきますと、今までどおり土砂が入ってきますと堆積してしまって浚渫、維持掘削しないといけないということがだんだん掘れば掘るほど顕在化する。その量为目标とする量内に収めるため、維持管理の議論ですね。これぐらいの土砂量になったらありがたいんだけどもということで、維持管理のほうからそういう目標値が出てきて、今までの実績値からそれに対してどれくらいの量かというのが出てくると思います。

出すばかりでなく例えば今ダムで溜めてもらっていて絞り込まれていることが、今後、方針河道を維持する上では楽だといったことで、これは、総合的な土砂管理の中でダムにちょっと負担してくれないかと。そうすると河道のほうは楽なんだけど。でもそれがダムのほうでやはりだんだん堆積してしまって難しいとなると出す、となったときに、河道のほうではどうしても溜まっちゃうようだが、言い方は悪いかもしれませんが、例えば計画高水位と計画流量時の水位の間にまだ隙間があって、そこは比較的マージンがあると。なので5年に1回ぐらいにガッと掘削するぐらいだったら何とか間に合いそうだという場所があって、そこが偶然、堤内地側を見ても安全というんですか。一番守らないといけない1丁目1番地のところではないといったところであれば、そういった調節がどれだけできるかというところから始まっていくのかなと思っています。なのでそういった量は示していけるかもしれない。

逆に欲しいというほう、もっと出してほしいという形になってくると河床低下が進み過ぎてしまって、例えば一番わかりやすい例を1つだけ挙げさせていただくと、河床材料が置きかわっちゃうようなところがあります。砂の層がなくなっちゃった、小礫の層がなくなっちゃったといって昔の粘着性土

とか小礫の下から砂が出てきてしまって、考えられない規模の5m、10mぐらいの局所洗掘が出ちゃうようになります。これがどんどん広がっていく。つまり上から供給量が不足して広がってきてしまいますと、河道をどうやって維持していいのかなかなか簡単な方策はないと。願わくば昔みたいな礫の層、砂の層が復活すると、これまでの維持管理ができるんだけどということでそこを目指したくなるといったときに、それくらい回復するような土砂量を回復してほしいなんていうことは、またマクロですけれども、これくらいの勾配でこれくらいの川幅の川なんだけれども、これくらいの土砂量でいけば極小的にはちょっとハゲが出るかもしれませんが、縦断的にはある程度昔の層が維持できるような供給量というのは、出してくれるのかなと思っています。

それくらいの精度で出していくようなことができないといけないし、出せるんじゃないだろうかということを期待して書いています。

先ほどの特効薬にならないみたいな書き方をしましたけれども、そういったバランスを考えないでただ単に上から増やす、減らすということやったら、すぐに目の前にある維持浚渫量を減らしたいということにすぐ結びつくといったらそうではないという意味で、特効薬にはならない。やはり例えば上流が河床低下が進んでいる中で、まだまだ河床低下が進む余地がある中で、一番下流端で堆積が進んでいるようなことだとすると、幾ら上から供給を増やしても、その低下しているところに溜まります。そうすると別に下の掘削量には影響しないなんていうことにもあります。また逆に全部進んで河床が緩くなっていたら、今度上から入れてしまったら、それはすぐ下の下流端に溜まるものに対して効いてきてしまうみたいなことで場合によって違うと思います。そういったことについてしっかり分けて考えていかないといけないということで考えています。

ですので、かなり条件がそろって、上まで川幅が一様、何ていうんですか。条件が整ったような状態

の中でいくのだったらある程度の量が出せるかなんていうことを思っている次第でございます。

藤田 去年の河川セミナーで少し、河道を設計するという積極的な技術的な、あるいは技術者の意図を持って少し技術を再構築するようなことが大事じゃないか、みたいなことを私なりに申し上げたんですが、総合土砂管理に関して言うと、前から言われていることですが、どうしてもダムから土砂を出すということがまず眼前の目標になると。いつも河道の技術者がダム屋さんから批判されておられて、要するにあなた方はどういうふうな土砂が欲しいんだということをちっとも言わないじゃないか。だから具体的な技術的な真剣な議論にならないんだということを、結構言われているわけです。

河道の計画だとか河道の設計において、たぶん今、技術基準とかを見ても、上流からの土砂供給量をこういう量を設定して、それでこういう条件でいろんな検討をなさいとか、上流からの土砂がどれくらい来ているかということが明示的に書かれていない感じがします。

そういうことをずっと続けていくと、幾らポリシーとして上から来たほうがいいとか連続性とか言っても、やはり技術的な量としてあるいは粒径ごとどれくらいのものが欲しいんだということの技術的な具体の議論をしていかないと、なかなか本当の技術としてのすり合わせにはならないというのがまだまだ大きな課題で、少しそういう方向で上からもし土砂が増えたらどうなるんだろうということも含めて、もっと検討しないといけないのかなということを、今の服部さんの話に絡めて少しコメントさせていただきました。

櫻井さんが言われた、だから水系において土砂流下のコントロールができる可能性があるというこれは、櫻井さんの研究室の大きな方針なんでしょうか。大きなことだと思ったんですけれども。

櫻井 すみません。それは、ポテンシャルがあるかなという認識で、直轄のダムですと水系の中のかんりの割合の集水面積を持っているので、その土砂

を受け止めた後、もし自由に出せる技術があれば、そこで下流に必要なものを供給できる可能性があるという、ポテンシャルがあるんじゃないかという。

藤田 今後の将来に向けての……。

櫻井 ポジティブにとらえたらそうかなという。

藤田 はい。では1回こういう議論をしてきましたが、今までの議論も含めてでも結構ですが、また皆さんのほうからぜひ質問でもコメントでもいいんですが、ここははっきりさせてほしいとかそういうことでも結構ですので、いかがでしょうか。

質問者2 今日、本当は山のほうの方の話も聞ければ一貫したのではないかと思います、総合土砂管理はやはり線で考える川の人たちだけでなく、発生源のところからが重要になってくると思います。そもそもそう考えたときに、私も詳しくは知らないんですが、例えば砂防とか治山の世界で、そもそもどれくらいの土砂がどういうタイミングで発生するんだというような計画論ができていうわけでもないような気がするんです。

つまり土砂の発生がどうなるかという見積もりがまずよくわからない中でやっていて、そこが今回、研究者の方が大勢集まっておられるので、それを見積もれる技術的な基盤というのはもうできているんでしょうかということと、その基盤ができていたとしたら、つまり、発生する土砂量がある程度Q-Qsの関係でわかってくるということになったら、河道の中をどう流下してきてどう分布していくかという追跡は、今だったら大体二次元ないし三次元の土砂の計算は、一応金と時間をかければできないわけではないような時代になっているようですが、そのところは逆に、金と時間が結構かかるのでそれは現実的なんでしょうか。そういう一連のことを全体をつなげてある想定をとったらどういうふうになるのかというのをきちんと示す体系は今どの程度までできていて、皆さん方の研究がうまくつながるようになっているのか、その辺の今の技術レベルがどのようになっているのかというのをひとつぜひ教えていただければ。

藤田 内田君に広島から電話でもしてもらおうかと一瞬思いましたが。彼が今日のために用意していたのは、どうやら土砂観測の現状のようです。それで浮遊砂あるいは掃流砂の観測を少し新しい機械の開発も絡めてやるということの最新の状況を話してくれるはずでした。

私が何となく聞いているのは大きく2つあって、まず共通のポイントは、服部さんから見るとあれかもしれないけれども、今、砂防部隊が一番土砂観測をやっているという実情があります。正確な数は忘れましたけれども、砂防の箇所に絡めて全国で80だったか、少なくとも2桁中盤くらいの観測地点があってそこで観測をしているという事実があります。

個々の情報の精粗はあるでしょうけれども、それが何だかんだいって積み重なってきているというのは、今後いろんな意味で大事な基盤情報を提供するのではないかという期待があります。

やり方としては濁度計を使って浮遊土砂をはかるというのが1つ。もう1つはハイドロフォンです。ハイドロフォンという言葉はずいぶん前から出ています。いろんな開発者、研究者がやってきているんですけども、国交省の砂防部隊はそれにいろいろ実務的な工夫をして、だんだん実務情報としてもものになるデータを着実にとれるようになってきたという話は聞いています。とにかくちゃんと測っているという、ボリューム的に非常に重要な情報のソースなので、そこをこれから、ここにいるもうちょっと下流の人たちが総合的な建設的な批評も含めてエクステンジするというのが、まずひとつ大事な方向ではないか。これが僕が知っている1つの情報です。

これも何となく小耳に挟んだだけですが、もう1つは今国総研系でやっている研究ですけども、大規模な土砂の流出があった後に、何年かかって下流への土砂流出がどのように推移するのかということをやはりちゃんと調べたいという研究を2年くらい前から始めています。これは2種類あって大雨で深層崩壊も含めて大規模に崩壊した事例もある。それ

から雨の延長でたくさんの箇所がちょこちょこ崩れる。それから地震でどさっと崩れる。御岳がありましたけれどもああいうもの。あるいは宮城で、ありましたね。それぞれの要因のときにそれがその後どのように推移したかというのを調べたい。直接のきっかけは紀伊半島の豪雨です。あの後、下流の河道がどうなっていくかということは土砂管理上も砂防屋さんとしても非常に重要なファクターで、それは今、服部さんがその委員会にも絡んでいますけれども、そこでも大変な議論になっています。

そうしますと、供給土砂が時間とともにどう推移するかとか、あるいはある種のイベントがどれくらい現状を引っ張っているのかということの時系列とイベントとの関係が時空間的に見えてくると、何となくある種、Q-Qsという動的だけど疑似動的の世界からもうちょっとリアルなものが見えてきはしないか。その研究のアウトプットには、私から見ていても非常に期待しているし、それを逆に、今の技術的ではあるがやや機械的に体系化しようとしている世界に持ち込んだときに過不足がどうなるか。これはすごく大事な議論になるのではないかと。

ただおもしろいことに、彼らのやっている研究の大事なツールがダムなんです。結局ダムの堆砂量というのは、まさに櫻井さんが言ったように、非常に世界的にもまれなほどきっちり測っている。じゃ宮城県の地震で崩れたものは何とかダムで測ってこうだったとか。意外に地震で崩れたものは増えないとかいろんな情報が出ているみたいなので、その手の情報は非常に重要だなと思います。

問題は今日もそれが趣旨の1つなんですけれども、砂防でやっていることの研究成果、あるいは調査成果を、櫻井君の目を見て今までやってきたダムの堆砂のデータと突き合わせてどうなのか。あるいは服部さんが見ている上から来る土砂のイメージと彼らがやってきた結果がどう合っている、合っていないか。あるいは何が足りないのか。それは我々の中でも議論している機会は意外に少ないかもしれない。これは大きな反省点です。じゃそこまでやった

のはすばらしいんだけど、もうちょっと粒径の情報が欲しいとか、もうちょっとこういう切り口で量を整理してほしいということを、まさに水系の中でやらないと、またそれはそれで1つの貴重な調査で終わってしまうので、そこに持っていく仕組みみたいなものをあわせて私たちも考えないといけないし、皆さん方もエリアを超えていい意味で意見を交換し合うというか、もうちょっとこういうことをやろうという突っ込みを入れ合うようなことも必要なのかなと。

すみません。私はとても内田君の代弁はできませんが、知っている情報として今提供できるのはそのようなところで、その点はすごく大事だと思います。

だから、どこかで技術的な整理をしないと行けないが、一方で非常にダイナミックな動きもわかっていて、そのときどきのレベルでこの時点ではこれくらいで一回割り切ろうとか、そういうことを次々やっていくというのが、本物の技術の展開なのかなというイメージを持っています。

やや中途半端ですが、一応私ができることを今申し上げました。いかがでしょうか。

質問者2 ぜひそういう連携をとっていただければと思います。

たまたま2年ぐらい前に福島の関係で、浮遊砂の計算をざっとやりました。出てきた参考資料がほとんど外国のものばかり。日本のもので参考になるものが実はなかった。浮遊砂は何とか使えたんですが、もっと大きい掃流砂まで含めたものになるともう手に負えない。たまたま福島の場合は細粒部にしかものがくっつかないので、大きいものはあまり考えなくてもよかったというのがあるんですけども、それをやってみて、つくづく全体をやっているのがないんだなというのを改めて実感したので、とても我々なんかでは体系的にはできないので、ぜひ土研、国総研で取り組んでいただけるとありがたい。

藤田 ありがとうございます。今のに何かコメントありますか。ありがとうございます。非常

に大事な、内田さんのフォローに若干なったかもしれない。

ちなみにハイドロフォンは砂防ダムの天端につけるんです。昔、河川研究室でも掃流砂も頑張ってる。他の研究者もそうですけれども、やはりある程度緩勾配のかさになってきて掃流砂を測るのはすごく大変なんですけれども、なるほど構造物があるとかかなりシステマティックにとれるので、そういう点でもとりやすいところで掃流砂というか、礫の移動量をはかるというのは、非常にいいスタートなのかなということを改めて思ったりしました。ありがとうございます。

ほかはいかがでしょうか。

質問者3 何でも聞けというので少し変な質問になるかもしれませんが。

藤田さんがおっしゃるように、この総合土砂管理については、やはり1つの考え方というか意思を持ってきちんとやっていかないと、なかなか全体としての前進は難しい話題だと思っています。

そういうことを踏まえて言うと、矢作ダム、佐久間ダムを1つのフィールドとして、具体的に国総研、土研のほうで現場の協力も得て、今言ったような研究も含めて、あるいは試行的な実践も含めて積極的にやっていこうじゃないかという気運ができていてということも少しお聞きしました。そのことについてどんな状況なのか、どんな取り組みでどういう研究テーマを何年ごろに完成させるのか。そのようなことについてお聞かせいただけるとありがたいと思います。

藤田 れっきとした事業なので、その本体についてはなかなか私から軽々に言うのは難しいんですけれども、私は土砂管理の委員として、それから服部さんと萱場さんはそこをさらに支える具体の技術的なコアメンバーとしてかなりコミットしているのでその中で感じたことを少し申し上げます。

ちょっと知らない方もいらっしゃるのですが、矢作ダムは恵南豪雨がそのメインですけれども、大量の土砂がダムの中に堆積してもう100%です。これから

は容量を確保するためには堆積させる余裕がないので、来た土砂をスルーさせないといけないというぐらいいかなり状況的には切迫していると。そうすると、ダムから土砂を本格的に出すことを実践しないといけないという明快な目標があります。

一方で機械的に出してしまうと、ちょっと言い方は悪いですが、ダムだけの都合で出してしまうと、下流の正に今日萱場さんがお話になったような、例えば砂が堆積し過ぎるんじゃないとか、そこにいろんな希少種もいれば水生生物もいると。それに対して技術的にきちんと影響予測をして悪いことにならないように、むしろいいことになるように、それもしないといけないという課題もあります。

さらに中流に行くと発電のダムがたくさんあるんです。大きいダムじゃないんですけれども、そこはたぶん電力関係者とのステークホルダーとしてのどれくらいそれに協力いただけるかという難しい問題もある。そこは技術だけではありません。

さらに下流に行くと、今度は天竜川と違って矢作川は、中下流部がいわゆるセグメントの2というんですか、つまり砂河川になります。そうすると、ダムから出したいものの多くが砂なので、砂がダムの直下の5~6kmは、萱場さんのお話にあったように、ベースは礫の石の大きな河床ですから、砂が表層にたまるかどうかぐらいのレベルの地形変化なんですけれども、ずっともし流れ下って明治用水頭首工のさらに先の勾配1/3000か1/2000ぐらいまでに行くと、これは砂河川ですからダムから出した砂がもうメインの材料。服部さんの話であったかもしれませんが、材料は「m」なんです。そうすると全く無計画に出すと、今度河床本体を上げてしまう。治水のために危ないとかといって一生懸命管理しているところに、全く予測を超えて土砂が来て、またそれでというと、なんかマッチポンプみたいになってしまう。そういうそれぞれに課題が明確な河川、水系であります。

そこでやはりダムから土砂を賢く出して直下の下流の溪流の環境を悪くしない。むしろよくする。そ

れから下流でいえば、治水の施策ともちゃんと整合させて、ゆくゆくは下流の干潟、砂の干潟の保全にも資するような、そういう議論をしています。

そのときに私は筑波の技術者の一員としてぜひサポートしたいということで関与したわけですが、やはりとても技術的に難しいと思いました。事務所あるいは地整が一生懸命取り組まれているんですけれども、技術的に結構難しいところがあるので、その辺の水系の土砂管理の技術をよくわかった集団が継続的に、しかも上っ面じゃなくてちゃんとコミットして技術的にはこういうことをやって、こういうふうにデータをとってこれはこういう判断につなげるんだということをかなりしつこく継続的にやらないと、そんなに簡単に、ちょっと行って「これはこうだね」というぐらいで済むほど簡単な話じゃないなということをすごく感じました。

その辺は現場も苦労されていて、そういう中で事務所とか地整の皆さんにもご相談申し上げたのは、ここにいるような筑波のこういう人材も活用してくれと。それで何となくお客さんでなくて、これを継続的にどういうふうに。単に測るといったって何をどう測ってどう判断するのかというセットで、ちゃんと我々にしっかり要求してもらおう。本気で継続的に支援するようなことを少しやらないといかんのじゃないかという話を大分させてもらいました。

そういう中で服部さんとか萱場さんが具体的なやり方、何となくこういうことをやらないといけないという方向性を出すだけではとても現場は受けられないので、じゃ具体的にはどうしたらいいのかということまでちゃんと提案して、事務所ができることは何なのかということキャッチボールするということまで対応関係をしっかりまずはやろうよということは1つありました。

もう1つはその延長線なんですけれども、総合技術です。さっき櫻井さんが言ったように、排砂工法ひとつとってもいろんなものの組み合わせとかいろんな人のアイデアが必要じゃないですか。そうすると今のが1つの事例なんですけれども、やはり

排砂の技術にしても何にしても、いろんな本気でちゃんと考えたい人をうまく巻き込んでマネジメントするような、そういう仕組みというものを、今までのやり方のいい点を踏まえつつだけれども、もっといいやり方があるんじゃないかとか。そういう本当に総合土砂管理が日本国として特に技術的に大事であれば、ベストな技術者集団をいかにうまく適切なやり方で本気でコミットさせるかという、そこにもう一度いろんなアイデアがないといけないのかなど。

だけどそんな難しいこと言ってもしょうがないので、まずは「隗より始めよ」で筑波としてはお客さんとしてではなくて継続的にお手伝いをさせてくれないかな議論をしています。そういうスタンスが逆にそれだけ非常に大事であって、技術的には大きなターゲットなんだから、今まで以上に気合、本気度を増していこうみたいな議論はしています。

それを現場サイドでどう受け止められるかとか、双方のそれぞれの体制の整備みたいな話もあるので、一朝一夕にはいかないかもしれないけれども、やるなら徹底的にちゃんと掘り下げよう。もちろん現場の合意形成とか管理者がしっかりやらないといけないという話もあります。その辺も総合的に見るような部隊も必要かもしれませんけれども、そういう流れの議論は少しありました。

だから、何というんですか。そう生やさしい技術課題ではないので、やるならきちんとやろうよということですか。まだ途上ですけれども、そんな議論があらうかと思います。

ちょっと感じたことを少しフォローをしてもらえますか。

萱場 今日お話したことはたぶん全体の解決しないといけないことの1割ぐらいなんじゃないかと思っています。この1割の部分については、あと2年ぐらい研究期間が残っているので、今日話した前段の部分については、何かしらの技術になって現場に適用できるようなレベルにしていきたいと思っています。

ただ幾つか問題があって、今日前段でお話した中で言うと、あれはQ-Qsが設定されて下流に土砂が流れて、瀬-淵スケールでどんなふうに土砂がたまるかということがシミュレーションできた暁に環境のほうで評価できるということですから、現状の技術でどの程度淵が埋まるのかとか、瀬の河床材料が変わるのかとかその辺の精度アップがなされるかということが結構大事になってきます。

お気づきの方がいらっしゃるかもしれませんが、今日は陸域の話は全然していないんですね。当然礫地に砂がたまって礫河原が砂地になってしまうという問題も当然あるだろうし、そうすると陸域の評価を今度どうしていくのかということも当然やらないといけない話になってきます。

あと今日話が出たように、もっと下流に行ったときに効果の部分とあと懸念される部分が当然あるわけですが、その辺の頭出しが今ようやく矢作川で始まっただけで、具体的には例えば外来種に対してどれだけの除去効果があるとか、樹林化対策になるかとか、あとは逆に砂が増えることによって、砂地が好きな外来種が増えるんじゃないかとか、想定される項目が今頭出しとしてどんどん出てきている段階です。

ただそれですら我々の想像上の話での頭出しなので、本当にそれだけでいいのか。実際に流してみたら、思いもつかないようなことが起こる可能性もあるので、そういう意味ではまだまだやるべきことがたくさんある。そこをどういうふうにこの事業を実施するプロセスの中で、常に発見をしながら問題解決をしていくというスキームを筑波の中にも取り込んで両輪で動かしていくということがこれから大事だと思っています。

ですので、いつまでできるんですかと言われると、そもそもやるべきことが全部わかっていないので、その辺の柔軟な対応がやはり非常に大事なかなと思っています。そうはいっても事業ですから、ちゃんとタイムスケジュールに沿って動かしていないといけないという中で、環境の部分について

言うと、精度が悪くてもどう決着をつけるかという、少し研究ではなくて判断するようなこともこれからどんどんしていかなければならないだろうなという覚悟を持ちながら、これに加わっているという感じでございます。

服部 先ほどお話があったように、総合的な技術だということが1点と。総合的ですから、こう見てもダムのほうの排砂装置をどうつくっていくのか。環境のほうでどう評価するのか。河道で困ったことが起こらないかということを考えていくときに、これまで個々の連携がとれていなかったんですかね。ダムはダムで頑張って排砂装置を考える。河道は河道で考えたし、環境は環境で考えた。それがひとつ技術的なネックになっていたようなことを感じました。

今回やるときにお互いに連携しやすいように、何か根っこでつながっているパラメータというものを共通で持って議論しましょうということを話し合いました。それで出てきたのがQ-Qsです。なので櫻井さんのご発表にも萱場上席の発表にもQ-Qsがしつこく出てきたわけです。Q-Qsがわかると、例えば私のような河川系のものが、河床のところに砂が過剰に堆積しないような範囲でいくと、Q-Qsはこれくらいだと。それをもとにダムのほうにお願いをしてこういう形で出せるようなものを作ってほしいと、これ以上、例えば小さい流量のとき、無理くりQ-Qsをいっぱい出すような装置だと使えないからQ-Qsをこういう形で出してほしいんだけどどこまでできるだろうか。それでキャッチボールが始まってくる。

たぶん発電ダムさんのほうも、発電をマックスでいつもやりたいので、ちょっとした出水だと水位をずっと上げておられますので、土砂がたまりやすいというんですか。出しちゃうんです。Q-Qsがこうだからちょっと我慢してもらって、ここまで流量が下がるまでは開けっ放しにしておいてくださいとやるとかなり土砂が減るということについて、どれだけ向こうが寛容にやっていただけるかという検討を

するときも、Q-Qsが必要だろうと。当然環境のほうはいまでもなく、どれくらい濁っているとかその粒径がどんなものなのか、その結果河床がどうだということで生物はどう応答するか。今日お話があったようなことだと思います。

そうするとみんなQ-Qsでこうしてくれば、環境もダムもう大丈夫だという話が出てきますので、全部じゃないかもしれないけれどもかなりの大きな部分がQ-Qsという部分でいろんな議論ができそうなので、そこで議論を始めるということでやりました。これが今後ねちっこくみんなQ-Qsということに全部変換して、この範囲だったらいくみみたいなものが書けたら、ひとつ技術として大進歩かなと思っています。以上です。

藤田 ある意味ではQ-Qsみたいなものが大事だと、結構私もたきつけた。たきつけるというのは語弊があるかもしれないですけども、大分共通の見方ができてきました。ポイントはまず今の話の流れで行くと、やはり具体的に技術的な量を共有化して、それで先ほどの山の話であれば山から土砂が出てくるという話と下流の河道の設計とか管理をつなげるためには何となくではなくて、どういう量で表現すればいいのか。それを具体的に決めていかないと、いつまでたっても何となくの議論になってしまう。Q-Qsだけがオールマイティだとは思いませんけれども、そういうことをやってみないことにはまずは始まらないと。

だから恥ずかしながら、これは櫻井さんに言うのもあれですけども、ダムのほうも下流に土砂を出すときのQ-Qsはどうなるんですかというのは、しばらくはたぶんあまり考えていなかったですね。量を出せばいいという感じだったので、ようやく下流のサイドからQ-Qsというのは環境上もいろいろ重要だということをしつこく言った。これも技術的にはハードルが高くなっている面もあるんですけども、排砂工法を考えるとそれが単なる量だけではなく、Q-Qs、レジームみたいなものですね。土砂と流れのレジームのどんな特性をうまくコント

ロールできるか。そのぎりぎりのところ、出す上での最適効率と、下流にとって欲しいレジームとのぎりぎりのところはどこなのかみたいなことをまずひとつ狭い世界かもしれないけれども、ぎりぎり技術者同士でしっかりやるということが1つの総合の実践であろうかと思っています。

その一方で、そういう個別の緻密なものを積み上げていけば、総合土砂管理がすっきりさわやかにできるかということ、またそれはそれで難しいなと反面思っています。先ほど萱場さんも少し言いかけていてましてけれども、やはりやりながら考えるというスタイルがどこかにないと、この手の話はそんなに「きれいに全て決まって、わかったから、さあ、いきましょう」とはいかないなと。これだけでかいアクションを水系に起こすということをやりつつも、どうやったらやりながら考えられるのかというその仕組み。それは技術的な面と行政上の制度の面とお金といろいろあると思います。そういうことがもうひとつ問われている感じがします。完全にきれいな答えが出てからというのは無理だと思います。

その辺のマネジメント的な、これは研究開発のマネジメントでもあり、行政のマネジメントでもあり、合意形成も全部合わせた話ですけども、それについても何となく各水系に合ったやり方をしっかりつくっていくぐらいの意識がないと。恐らくそこに民間の方の、排砂工法だと櫻井さんたちが頑張っておられますけれども、当然民間の技術という話もあると思います。これだけ大事なテーマなんだから日本国総力を挙げて技術を、世界かもしれないけれども。そうすると民間の技術の取り込み方の仕組みみたいなものも、もう一段何か考えないといけないのではないかという話も当然出てくると思います。技術的にきっちり積み上げる部分と、全体のマネジメントの仕組みを考える部分、両方を視野に入れるのかなと今感じているところであります。

ではそのほかいかがでしょうか。

テーマが「明日があるか」というのはちょっとあれですけども、やらないといけないというエネル

ギーが欲しいですね。最初の萱場さんへのご質問がそうなんですけれども、結局土砂を流すといいことがもっとないと、何となく元気が出ないというのはまさにそのとおりだと思います。意外に冷静に見ていくと、そうでもないなとか。やればやるほど技術者的には研究者の悪い癖でニュートラルになって、それはある面ではいいことなんですけれども、非常に冷静になるものですから、やはり根っこのところのエネルギーとして連続性がいいたとか、流すとすごくいいことがある、いい世界がつかれるというのがもう一段、ここまで具体的な話をやりつつ、もうちょっと欲しい感じはするんですよね。

その辺はいろいろあるけれども、でもやっぱり連続性を確保して土砂が基本的には、今よりはスムーズに水系の中を動き、海岸まで行くというふうにしたほうが、何だかんだいってもいいんだという理屈は皆さんないでしょうか。海岸はそこでもう一度出番がすごく出てくる感じがするんですけれども。

諏訪 最後に来るところでもありますし、後出しじゃんけんをしている部局なので、出していただければ幾らでも出してほしいというのが立場です。うまく数量的に言うことはできませんけれども、黒部川の連携排砂というのも河口とか海岸に行ってみると、直感的なものではありますけれどもよくなっているなと思います。ぜひ続けてほしいと思います。

これはあと安倍川の総合土砂管理計画のシンポジウムで佐藤先生が言ったことの受け売りになりますけれども、時間がすごくかかるので一喜一憂しないで腰を据えて長くやっていかないと効果が出ない。減るのはあっという間ですけれども、復元するのは時間がかかるので、そこはそうやってほしいと思います。

一方でさっきの話を聞いていると、非常に河川の中はデリケートなようなのでいっぱい出してくれといってもなかなか限度があるのかなとも思いました。そういうときに私のはこの量が欲しいというプレゼンではなかったのも、ちょっとピントがずれていたのかもしれませんが、直接ダムの貯水

池の砂を養浜に使うとかそういうことは神奈川県もやっています。また港湾の浚渫土砂を養浜に使おうということもやっていますので、復元ということになったときにはフラックス計画とは別の次元で取り組んでいく必要があるのかなと。そういうことをやっているとよくなっていくのも見えますし、元気が出る部分もあると思っていますので、フラックス計画みたいなものも大事なんですけれども、なかなかそれは目に見えるのが難しくて、元気が出るのがちょっと難しいなという部分もあると思っています。

藤田 今の話は、必ずしも水系の土砂を流すことだけにこだわる必要はなくて海岸をよくするのにいろんな土砂の持っていく方があるということが1つですよね。

諏訪 たぶん川の中の管理からいうと、砂利採取にとってもらったほうがきっとコストが安いんだと思うんですけれども、うちも金をいっぱい持っていれば自分でとりに行つて養浜すればいいんですけれども、貧乏人の海岸ではなかなかそういうことができない。せっかく掘削する土砂があるのに安倍川では使っていないよといってもらっているんだけれども、持っていく量に限度があるというところに壁がございます。そういうときにダムのこういう送る技術でダンプで運ぶよりうんとよくなるのなら、魅力的だなと思って今日最後のほうを聞いていました。

藤田 早く、みんながわかる成功事例を共有化したいなと、私なんかは思っちゃいますよね、いろんな議論があってもいいんだけれども、一個代表選手について「こんなにいい方向に変わったぞ」というのをどうやったらつくれるか。そこから逆算をしていって、どういうふういろんなものを仕掛けていけばいいのかとか、そういうことも含めて全体的なことを考えて元気を出すということが非常に大事な感じはしました。

あと15分ぐらいですけれども、皆さんからまたいろんなご意見をお聞きしたいと思います。いかがで

しょうか。

質問者4 今のお話にもちょっと関係するんですが、櫻井さんのスライドの最後に、費用を支出するための根拠の整理というのが課題の1つになっていて、そこが今、諏訪室長がちょっと話されたような、前回の講演を聞けなかったのでエッセンスは今のようなことだったのかもしれませんが、そのメリットの部分を、必ずしもお金じゃないにしても、評価をして、だからこれだけお金をかけて例えば排砂をしても惜しくないねというような議論とか試算とかサンプルとか事例というのは何かあるんでしょうか。もし試み等があれば。

萱場 今日の議論は一貫して負の部分だけの評価というところにちょっとバイアスがかかってしまっている。そうすると今おっしゃったように、コストをどれだけかけていいんだという議論にならないんですよ。ベネフィットの部分はいろいろあると思うんですが、治水上のベネフィットというとはやはり土砂の堆積とかあまり見るべきものがないとか、あと環境の部分でいうと少なくともダム直下は今日お話ししたようなことですが、下流に行くと、例えば砂州が発達しているような生態系生物が復元するとかということは当然あるだろうなと思っています。

例えば木津川で河川生態学術研究会でやった研究だと、砂州の水質浄化効果みたいなものが定量化されていて、あるとないとではやはり相当浄化能力が違うとか、それから最近問題になっている産卵場の減少みたいなものも土砂供給と関係があって、渇乏すると例えばアユの産卵場になるような場所が減ってしまうとか。あとはあまり樹林化と土砂供給ということはつなげては考えていないんですけれども、河床低下の原因として河床掘削プラス供給量不足というのがあると思います。その供給量不足というのがどの程度寄与していて、では土砂を供給すると樹林化対策にどれだけ効果があるとか。土砂供給と現況起きている河川環境のいろんな問題というのが、やはりつながりが希薄であまり関連性

を考えずに議論してきたというのが、筑波だけではなく学会全体として、そんな傾向があったかなという気がしてちょっと反省をしています。次の研究のネタとしてそういうのが大事だなというふうに思っています。

ベネフィットを考える上で、土砂の供給がどういう効果を持っているかという基礎情報が圧倒的に欠落しているということがあるので、少なくとも環境については少し幅広めに、上流から土砂が来ることによって、失われた環境の何が復元するのかということと、当然治水に対する影響もありますから、そこも踏まえて評価の仕方ということを考えていく時代なのかなと、ちょっと今の質問を受けてそんな感じを受けました。

これからという話なので、具体的な話ではないですけれども。

藤田 その話の流れでは、非常にオーソドックスな話かもしれないけれども、生態系サービスということ。生態系サービスはもっと概念が広いかな。防災の話も含めて、河口砂州の地形ができることとかいろんなことも含めて、萱場さんに振ってはいけないのかもしれないけれども、環境政策とかそういうことも今まで以上に重要になってくると思うんだけど、やはり国として環境も含めてどういうふうに投資をするべきなのか。

今までいろんな議論があって、生態系サービスみたいなものをもうちょっと本当に評価できる形にするとか、そういう展開というのは、土砂だけに限らない話だけれども。つまり環境の価値をもうちょっとうまい形でこれから表現しないと、なかなか今防災とかそっちのほうが非常にわかりやすいので、どんどんそっちに行くんだけど、環境等をシステムティックに施策に売り込む方法をもうちょっとパイプをつくっておかないとやばいんじゃないかと思ったりすることもあるとあわせて、その辺はさらに展開できるんでしょうか。

萱場 おっしゃるとおりで、コストをどう評価するかという観点、環境評価だとか環境をよくすると

ということだけでなく事業の成立にかかわる問題なので、そこはしっかりやらないといけないというのは、このシンポジウムに参加して強く思ったところですよ。私に対する宿題として今日は受け止めておきたいというふうに思います。

藤田 ほかにいかがでしょうか。もう時間もなくなってきたので、ぜひこれはというのは。

質問者5 第1回のときにそういう話があったかと思うんですけど、各部署で連携してやっていくとか共通言語をつくって技術的に積み上げていくというところは、今日はかなりお話があったと思います。やはりマネジメントの観点で誰が引っ張っていかるところが重要かだと思います。

矢作とか佐久間とか、ダムが強いところは進んでいるんだという印象があるんですけど、海岸だけ困っているような、流砂系というのはちょっと止まっているのかなという印象がありまして、そこをどう打開していくか。河川とか環境のサイドで引っ張っていくうまい方法がないのかということをご意見をお聞かせください。

諏訪 こういうことを言うと怒られるかもしれないですけども、神奈川県が何でうまくいっているかという、私の偏見が入っているかもしれませんが、知事のトップの号令でできていると思うんです。だから何というのかな、それが全ての方法とは思いますが、トップの意思とかで変わったりするのかなとも思います。

藤田 もうちょっと具体的に。

諏訪 さっきのダムで浚渫したのを海で養浜するとか。相模川と茅ヶ崎海岸に入れるとか。神奈川県ではそういうことをいっぱいやっているんですけども、それは知事以下の意思になっているので、私も話をしているとすごく県も熱気があります。だからそこが我がほうに来るとそれぞれのところで、より専門的に責任もあるのでなかなかその調整が、そう県のように大胆にはいかないのかなとも思います。乱暴なことを言うと、例えば地方分権とかすれば、海岸だけはよくなったりするのかもしれない

けれども、神奈川県知事みたいな人ばかりいればそういうことになるかもしれません。

藤田 だけど何が契機だったの、それは。何か背景はあるんですか。

諏訪 神奈川県の風土だと選挙で勝てるからじゃないんでしょうか。

藤田 土砂に興味があるというのはどういう。

諏訪 土砂じゃなくて海を復元したいんですよね、浜を。なくなっているから。復元という意味ではないでしょうか。

質問者2 西湘海岸の復元は知事のテーマになっているというのが1つと、相模川はいろいろあるんですけども、本当は川に置きたい。けどアユの川なのでものすごく川に土砂を置くことに懸念がある。だから川は今のところ受け入れてもらっていないんです。ですから城山ダム直下はしばらく出していないですね。本当はダム直下に置いて河道を經由してというようなことが全体としてよくなるということがきちんと説明できて、漁民の方に理解できるようになると、もっと違った金のかからないやり方が。

諏訪 浜の復元からいうと、まどろっこしいことをするよりもなくなったところを復元するには、直接どかっに入れたほうが復元も早くてそういうものも組み合わせながらやるのがいいかなと思います。

藤田 ありがとうございます。このセミナーの範疇を越えちゃうかもしれないけれども、やはり河川技術者として総合土砂管理が大事だということであれば、世の中にこれをやると本当にいいんだということを見せるということ、みんなでどういうふうに考えて案をつくっていくのかというのは、これは行政の方の責任も重いと思いますが、技術者だけではないよと。そこがベースにないとねというのが大事なポイントかなと。

おっしゃるようにダムが困っていて、そこが推進力を出しているということに頼るスタイルはもう限定的ですからね。なるほどもしかしたらうまくやれば成功事例みたいに宣伝ができるのかもしれないけれども、ちょっと本質的にはそれだけに頼るべき

ではないというのは全くごもっともなご指摘だと思います。

もう1問か2問ぐらいどうでしょうか。

質問者6 今日はいろいろ講義を聞かせていただきましてありがとうございました。

民間の立場からご提案と申しますか。5～6年前でございませけれども、電源開発株式会社、J-POWERが持たれているダムの水源池で堆砂が進行しまして、なおさら今後の気候変動といいますか、IPCCモデルの降雨量も増えるという面から見ても、電源開発株式会社にとってみれば、水資源は自分たちの営業権ですから非常にそれが深刻な問題として、今後どのような予測になるのかということも少しお手伝いさせていただいた関係がございします。民間という面から見ても、河川という行政の面とそういったこともあわせて今後協力しながらやっていかれば、よりすばらしいものが管理として生まれてくるのかなということも、ちょっとご意見として今日お伝えいたしました。よろしく願いいたします。

藤田 ありがとうございます。

それではもうほとんど時間がないので、最後に一番言いたいことを30秒ずつそちらから言ってください。櫻井さん。

櫻井 ダムが強いみたいな話があったんですけども、ダムのほうも厳しくてといいますか、維持管理のお金がなかなか出てこないというところがございします。1ダムの管理に直轄ですと1億円とかそれぐらいの金なんですけれども、土砂の対策を何万m³もやると数億円とかかかるわけです。それを出せるかという、なぜ出すんだという話になっていくと思うので、そのあたりが私の中でも答えは出ないですけども、コストを出す理由みたいなことをきちんと説明して予算をとっていくというのがなかなか課題なのかなと考えます。

萱場 具体的に進めていくことが一番大事で、その進めていく中でいろんな問題が出てきますから、それを皆さんで解決していくことが、たぶん治水も環境も、我々がいろんな面に目を向けるチャンスにな

るというふうに思っています。最近多自然川づくりもいまいち盛り上がりがないところがあります。環境に光を当てるひとつの起爆材として総合土砂があるのではないだろうかと感じています。

諏訪 フラックス管理はもちろんやらないといけないので、海岸も必要があれば出していきたいと思いますけれども、私は何よりも浜を復元するというのはわかりやすく見えるので、そっちも進んでほしいなと思います。川を通してやるのと同時に、直接どかっと入れるのも進むといいなと。土砂崩れが起きたときの処分とかも海岸のほうもいつでも入れられるように整えることをやった上で、ぜひ結果を出していけるといいなと思います。

服部 直轄の話だけかもしれませんが、お話を聞いていますと、最近いろんな地整さんでいよいよ川の流下能力をワンランク上げるかなり大きい掘削をするような計画を立てて実際にやるというのがもう差し迫った課題になっていろいろ河道計画を立てています。

その一方で総合土砂もそうですし、リスクとか大規模水害からどう守るかということが出てきますので、いろんなことが重なって大きな河道改修をするというのがそこにまた重なってきて、多角的にやらないといけないということになってきます。本当にここが今一番考えやすいときだと思っています。本当に川を広げるのがいいのか。深く掘るのがいいのか。高水敷を薄く切ったらいいいのかということ、どう川の形を変えたらいいのか。それを総合土砂と一緒に考えたときに、将来的にはやはりダムからと協力してやっていくということになると思います。考えながらやっていかないといけないと思っています。

ですのでまずは、急に総合土砂はいかないかもしれませんが、今回お話しさせていただいたように、河道計画を設計する上で供給土砂量がちゃんと明確になると、ちゃんと設定すると、どれだけ自分の仕事が楽になるかということですね。もう一度深めて検討してもらいたいと思っています。いろい

ろお知恵をいただきたいと思います。よろしくお願いいたします。

藤田 4回にわたりありがとうございました。事務局の河川財団さんとも相談させていただいて、もしかしたら記録みたいなものもつくろうかなと。一過性のシンポジウムというのももったいないので、私も自分のものも含めてファイルにとじてこんな感じなんです。

ぜひ、技術的にかちとしつつあるところが溜まってきているところがあります。それはそれでぜひ皆さんに持っていただきたいし、それはそれとして方向性の議論は頭を柔らかくしていろいろ項目を考える。1回で終わらないでこの次にどうするかということを私たちも考えていきたいですし、皆さんもそれぞれの立場で最終的には総合土砂管理は大事なもののはずなのに、いまいちだったりしてもったいないから、それをどうやったらさらに伸ばせるかと。それをいろいろ考えていただくきっかけに、このセミナーがなったとすれば大変ありがたいと思います。どうも本当にありがとうございました。

司会 藤田総合研究官を初め講師の先生の皆様方、どうもありがとうございました。大きな拍手をお願いします。

今日のセミナーをもちまして我々また河川技術者として、総合土砂管理の明日をつくっていくということをひとつの結論とさせていただきます、今回のセミナーの締めとさせていただきます。

それでは今回をもちまして今年度の河川研究セミナーはこれで一旦締めということになります。

最後になりますが、当財団の理事長の関より閉会の挨拶をさせていただきます。今しばらくお待ちください。

関 河川財団の関でございします。ことし4回、結構ハードスケジュールで、1カ月に一遍ということでさせていただきました。今年最後の時間ということで、一言ご挨拶申し上げます。

まず、国総研、それから土研の藤田さん、服部さん、諏訪さん、萱場さん、櫻井さん、それから内田さん、

本当にありがとうございました。これだけ濃い最先端の話を聞かせていただけるということで、私どもも非常に楽しみにしていましたし、私もずいぶんメモをとらせていただきました。それから先ほどのディスカッションがさらに濃くて、本当に心からお礼を申し上げたいというふうに思います。

今回、テーマが総合土砂管理と、正直言ってリスクなテーマではあるんですけども、この総合土砂管理を藤田さんを中心に国総研、土研のほうで考えていただきました。最後のテーマが「総合土砂管理に明日はあるのか」ということでありまして、私は4回聞かせていただいて、明日が明確に見えてきたと、こんなふうに聞かせていただきました。

というのは10年ぐらい前になるのかな。さっき水源地のほうの話をしていました。私も当時関わっていました。要するに総合という名前がついたということは、総合性がないということだということで、当時どんな道筋で総合土砂管理に行くのかなということを、どちらかというと悲観的な立場で見えていました。今回聞かせていただいて、分野、空間的にも非常に多くの分野学問、あるいは研究が必要で一緒にならないといけない。そこをつなげる手段、評価指標ですね、こういったものが今回ずいぶんお話を聞かせていただいて出てきた。だから社会的にも伝わるレベルになってきたのではないかな。そういう意味で、新たな総合土砂管理が始まっているんだと受け止めさせていただきました。本当にありがとうございました。

それから実は会場を途中で変えました。来ていただく皆さんがどんどんふえてまいりまして狭くてたまらない。このテーマに関する皆さんの関心の高さということと同時に、何年前からか、少し世の中がおかしくなりまして、立場が異なる人たちが一緒の場で議論をしたり机を並べると悪いことをしているなんていう時代があったものですから、こういうテーマは特に研究者、民間、行政の皆さんと一緒に取り組んでいかないと、とても進められないということも象徴しているのではないかというふうに、受

け止めさせていただきました。

私どもも河川環境管理財団から河川財団に新たに衣替えをしました。特に、戦略的維持管理ということを経験的なテーマとして進めてまいります。これも同じように多くの方々と一緒に議論をさせていただき相談させていただくという場を意識的につくっていかないと、前に進まないと思っています。ぜひそんな形で、皆さんにもお願いをしながら進めていければと思います。

特に4回連続で出られた方も結構多いということで、本当にタイムリーなテーマだったのではないかと考えております。

最後になりますけれども、改めて国総研、土研の皆さん方、それから内田さんは残念ながら広島で今ご活躍だと思います。改めてお礼を申し上げて挨拶とさせていただきます。本当にありがとうございます。

(了)

平成26年度

第5回 河川研究セミナー

山地流域における流砂観測手法

内田 太郎 氏（国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部砂防研究室）

開催日：平成26年10月27日（月）

場 所：AP秋葉原

山地流域における流砂観測手法

国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部砂防研究室

内田 太郎 氏

内田 国総研の砂防研究室の内田です。今日はお忙しい中、お集まりいただきましてありがとうございます。今から1時間ぐらいですが、流砂観測、山地河道における流砂観測の話をメインに進めさせていただいて、最後に少し時間があれば広島土砂災害を、前は来られなくて大変申しわけありませんでしたが、その理由と言うか、その辺の状況も簡単ですがご紹介させていただければと思います。

山地流域での流砂観測ということで、幾つか、山地流域に特化した事情というのがあります。必ずしも山地流域だけの話じゃない部分もありますが、今日はどちらかと言うと砂防分野でやっている流砂観測という

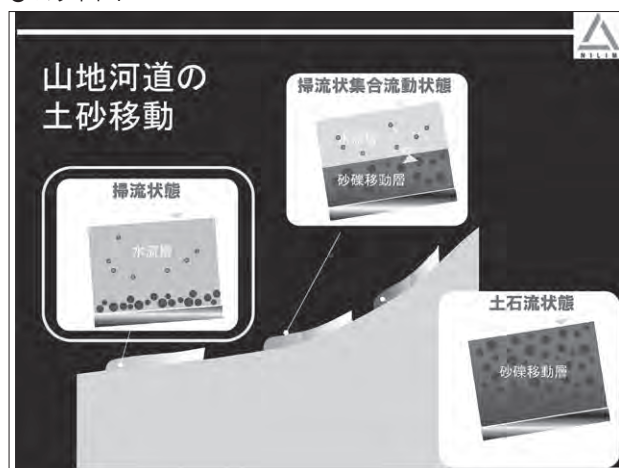
ことをご紹介していきたいと思っております。

それで、ひとつ山地流域の特徴としては、非常に多岐にわたる土砂移動現象が生じているということが挙げられると思います。それで非常に勾配の急な領域では、皆さんご存じのことかと思いますが、いわゆる「土石流」と呼ばれるような現象で、土砂が水面付近まで巻き上がって一緒に流れていくような現象が生じております。それから、少し勾配の緩い範囲になりますと、「掃流状集合流動運搬」と呼ばれるような流れの形態に変化する。それで上部のほうは少し水っぽい流れですが、下部のほうはどちらかと言うと土石流に近いような状況です。さらに下流のほうに行くと、今日の主眼となる領域ですが、山地河道においてもいわゆる「掃流砂」、及び「浮遊砂」と呼ばれるような下流河川で見られるのとはほぼ同様な流れの形態に移行していくということです。(スライド1)

それでこの辺の流れの形態の移行については、勾配や粒径や土砂の供給条件、そういうものがさまざまに影響して非常に複雑で、同じ場所であっても、



● スライド1



ある時は土石流形態で土砂が流下する場合もあれば、別な時間帯では例えばこのような掃流状の運搬とか、掃流砂で移動することもあります。また、逆に同じ時であっても、上流は土石流形態で土砂が流下しているが、下流のほうではいわゆる掃流砂とか浮遊砂という流れの形態が見られるという場合が多い。この辺はある意味で教科書的な説明ですが。

特に今日は土石流とか土砂流の観測手法まで議論しだすと、だんだん話も発散しかねないのと、時間もかかるので、今日はどちらかと言うと山地河道の下流区間に特化させてもらいます。もちろん流域総合土砂管理みたいなのを考える上では、本当の入口はこういう土石流とか、あとは斜面崩壊のような現象はもちろんあるので、そういうところにも注意を払っていく必要があると思いますが、今日は下流の河川とか、さらに最下流の海岸との接点という意味で、山地河道の中では割合に勾配が緩い範囲、もちろん下流の河道とかに比べればかなり急勾配の範囲に当たりますが、そういうところの話だと思って聞いていただければと思います。

では、こういうところの問題というのは何なのかというのをひとつ考えてみたいと思います。およそ3年ぐらい前に紀伊半島のほうで、いわゆる「天然ダム」と呼ばれる河道閉塞が生じました。山が崩れて川を堰き止めて、それで背後に湛水池が生じている様子です。このように大量の崩壊土砂が河道を埋め尽くして、「天然ダム」と呼ばれるようなダムをつくります。(スライド2)

これはもう少し流域面積の広いところで生じた現象ですが、同じように斜面が崩壊して、ここの河道を一旦埋め尽くしています。それが流域面積が広いこともあって、出水の期間中に越流して侵食されて流れ下っていく。こちらが下流ですが、流れ下っている様子です。このときも、この地点より上流の猿谷ダムのところで水位がダムの前面側で数十m上がったというのを見ていた人がいるような状況で、非常にダイナミックな現象ですが、そういうことも起きております。

こういう現象は基本的に大規模な降雨時に発生して、「土石流」と呼ばれる現象で集落を直撃したり、また短期間で急激な河床上昇を引き起こします。出水時のこのような土砂移動による災害を何とか防ごうとする話は基本的には砂防計画が対象としている領域ですが、一方でこのような非常に大きなイベントが発生すると大量の土砂が河道内に蓄積して、斜面もそうですが、非常に多くの土砂が河道に出水後もこのころことになります。土砂を生産するポテンシャルに比べて、土砂を流す力のほうが圧倒的に少ないので、非常に大量の土砂が流域内に貯留されることになります。

それで、この時はおよそ、紀伊半島全域ですが、我々の推定だと約1億 m^3 の土砂が山から崩れ落ちたであろうと推定しています。その1億 m^3 の土砂がいつ下流のほうに流下するのか。それで下流に流下するときにはどういう形態なのか、何年ぐらいかかるのか、あとはもっと言えば、この土砂が海まで流下するには何年かかるんだろうかというような問題はなかなかよくわからないんです。しかも、こういう土砂をそもそも放っておいていいのか、放っておかないで何らかの対策をしないといけないのかというような問題もなかなか難しい問題です。十津川村の村長さん初め皆さんも、この土砂は一体どうしたらいいんですか、みたいな感じの状態になっています。

そういう意味で、いろいろな総合土砂管理の考えの視点があると思いますが、ひとつ重要な視点とす

● スライド2



ると、こういう土砂がこの後どのように流れるのか。普段、土砂は必ずしも連続的に供給されているわけではなく、こういう地域は普段はほとんど山が崩れて土砂が供給されるようなことはないんです。でも何十年とか100年に一度みたいな大きな現象が来ると、急に土砂が生産される。要は、年生産土砂量みたいなものであらわすと、通常の時だけ見ていると大したことはない。多分、この2010年までの30年間とかを見ても、この1年分の土砂の10分の1とか、100分の1ぐらいの土砂しか生産されていない。だけど1回のそういう大きなイベントで、何十年間の何十倍というような土砂が一発で生産される。こういう土砂をどう管理するか、管理しないのかという問題だというのがひとつ大きな問題かなと思っています。

例えば、実際にあのような大きな土砂が出ると下流にどんな影響が及ぶのかということで、これは外国の事例ですが、1999年に台湾の中央部で「集集地震」という非常に大きな地震がありました。それでこの地震のときに、これは九十九峯という山ですが、一見して、すごいはげ山のような感じですが、これはもともとは森林に覆われていた場所です。それが一発の地震でこんなふうにはげ山化してしまっています。

このように非常に多くの山が崩れてはげ山ができたような状況で、下流で土砂がどう変化したのかというのを見てみます。これは台湾のほうで測られていた濁度、浮遊砂の採取によるデータです。台湾はすごいところで、かなり古い時点から浮遊土砂濃度の観測が続けられています。ご存じのように流量と濃度に関係があるので、流量で正規化したデータを見ると、基本的には大きな地震以前はほぼ一定のレベルだったんですが、大きな地震が起こると約6倍ぐらい濃度のレベルが上がって、そこからは6年ぐらいかけて徐々に減っていったというような感じなんです。それでこの数年間で非常に大量の土砂が流下していますが、その時間というのは大体この場合は6年ぐらいですよということです。

一方で、国内での有名な事例とすると、約150年ぐらい前ですが、富山県の立山カルデラのあたりで中で飛越地震という非常に大きな地震があって、鳶崩れという巨大な崩壊が起きております。その土砂量はどれぐらいの崩壊かというのはいろいろな説があるんですが、1億 m^3 とか、もっと多いんじゃないとか、いろいろな説があります。それで非常に大量の土砂が生産されました。これ以前には常願寺川は比較的舟運などに用いられているような、割合に安定した河道だったと言われているそうですが、それに対してこの後、洪水も急激に増えるというようなことが報告されております。この鳶崩れを引き起こした飛越地震前に比べると、10倍近い発生頻度になっているというような報告もあります。(スライド3)

それで、さすがに1858年はまだ明治時代にもなっていない、江戸時代なので、直後のいろいろな情報はないんですが、その地震から約50年ぐらい経過した後の1900年代前半ぐらいからは河道変動の測量がなされております。(スライド4) それを見ると、1900年代の前半から20世紀の半ばぐらいまで、ほぼ単調に河床が上昇していっています。これは下流側の河道区間で生じている現象です。そういう意味で、これが先ほどの鳶崩れのせいだけかどうかはわからないんですが、1つの大規模イベントが長期間影響を及ぼす可能性を示していると思います。

以上を見てくると、山地の中では非常に極端な「土

● スライド3

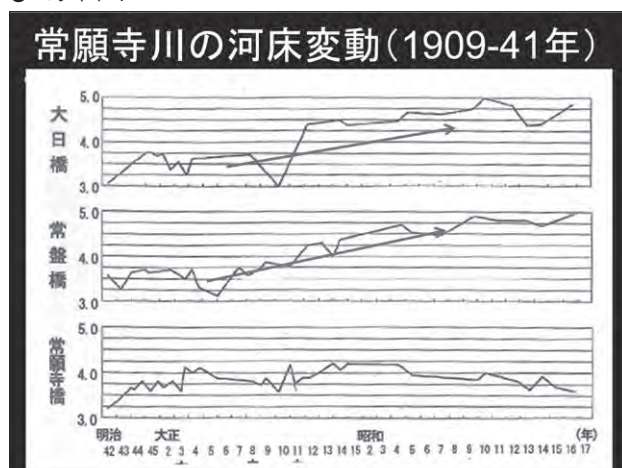


砂生産」、要は山から河道に土砂がもたらされる現象が起きております。それで、年間平均すると大した量には見えないような時期が長年続いていたとしても、ごく短期間の非常に強いイベントで大量の土砂が生産されております。そのような土砂が恐らく長期間の下流も含めた河川の環境土砂動態などに大きなインパクトを及ぼしているのではないかと考えられると思います。それが数年スケールなのか、数十年とか、ヘタしたら100年以上の、先ほどの常願寺川のようにかなり長いスケールなのかというのは領域によっても違うでしょうし、場合によっては生産される土砂の粒径とかそういうものによって違っているかもしれませんが、今のところまだはっきりと、こういう影響がこのぐらいの期間続くだろう、というのはまだまだ言えるような状況ではないのではないかと考えております。(スライド5)

ただ、いずれにせよ、そういう大きな土砂の生産後の数年間というのは、まずひとつ非常に総合土砂管理的に重要な時期かと思えます。また、大きな土砂生産がなかったとしても、土砂生産と下流の土砂の流出の関係というのは、恐らくかなり非線形性の強い現象だと思われますので、上流の土砂生産が下流の土砂流出にどういう影響を及ぼしているのか、というのを把握することは非常に重要なことだと思います。が、まだまだその実態はわかっていないところなのかなと考えております。

それでちょっと前置的なところが長くなりました

● スライド 4



が、土砂の動態を把握するということは非常に重要だと考えています。もちろん、今ご説明した内容ばかりではないんですが、総合土砂管理とかを考える上で上流域の土砂生産が下流の土砂流出に及ぼす影響の把握というのが一つのキーポイントかなと思っています。そういう意味で、どのような土砂が実際に流れているのか、先ほどご紹介いただきましたようになかなか観測自体が難しい部分もありますが、どういう観測ができるのかというのをご紹介していきたいと思います。(スライド6)

今、直轄の砂防事務所で標準的に実施されている方法としては、とりあえず水文観測と浮遊土砂の観測と掃流砂の観測が行われております。あとで少し紹介しますが、浮遊土砂については濁度計とかが用いられておりますが、いろいろ難しい部分もあります。あとはハイドロフォンによる音響を使ったよう

● スライド 5

背景

- 1回の豪雨により大量の土砂が生産されることがある。
- 大規模な土砂生産後、長期間土砂流出量が多い時期が続くことが予想される。
- この大規模土砂生産後の数年間は、土砂管理を進める上で、最も重要な期間の一つであると考えられる。
- 土砂生産が土砂流出に及ぼす影響の実態は十分に把握されているとは言い難い。

● スライド 6

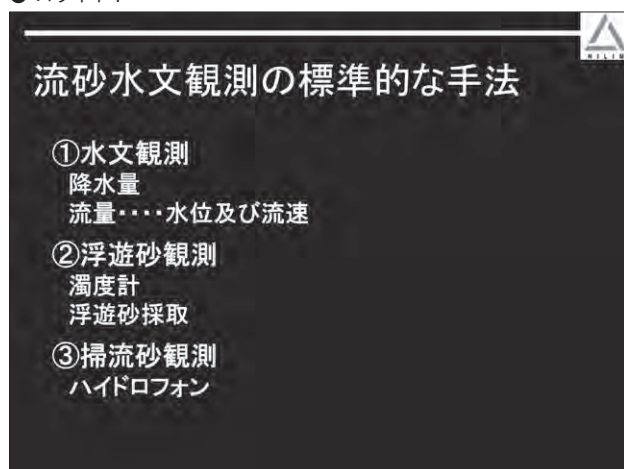
流砂水文観測の背景

- 山地河道における流砂観測は、砂防基本計画、総合的な土砂管理の推進、流域の監視、国土保全のための流域監視のために重要。
- 改訂された河川砂防技術基準(調査編)では、流砂観測を実施し、流砂量年表をとりまとめることとしており、全国的に直轄砂防事務所において流砂観測が進められている。

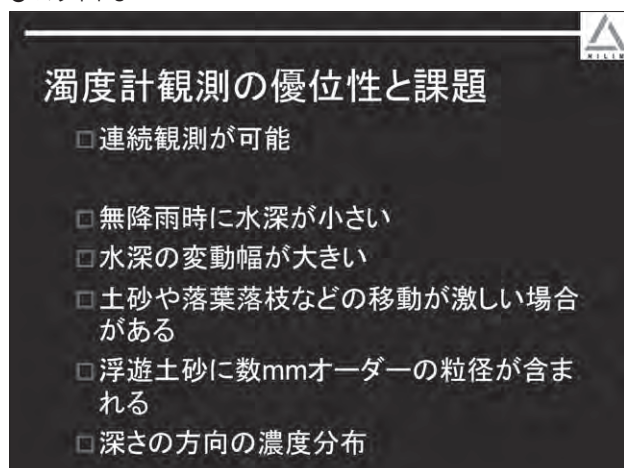
なセンサーによる掃流砂の観測が実施されております。(スライド7)

では、最初に濁度計の観測の実情と課題についてご紹介します。濁度計は皆さんよくご存じだと思います。連続観測ができるので降雨時に採水するとかそういうことがなく、連続的にデータを取れるという意味では非常に使い勝手のいい機械ですが、下流の河川で使われる場合ももちろんそうですが、いろいろと課題も少なくないのが実情です。例えば、山地地域なので河床変動が大きかったりとか、あとはそもそも普段は流量がすごく少ない、場合によっては枯沢になるような場合も、要は流れが伏流してしまうような場合もあります。つまり、河床変動や水位変動が非常に大きくて、かつ渇水期にはほとんど水深がなくなってしまうような領域でなかなか観測が難しいというような問題があります。(スライド

● スライド7



● スライド8



8)

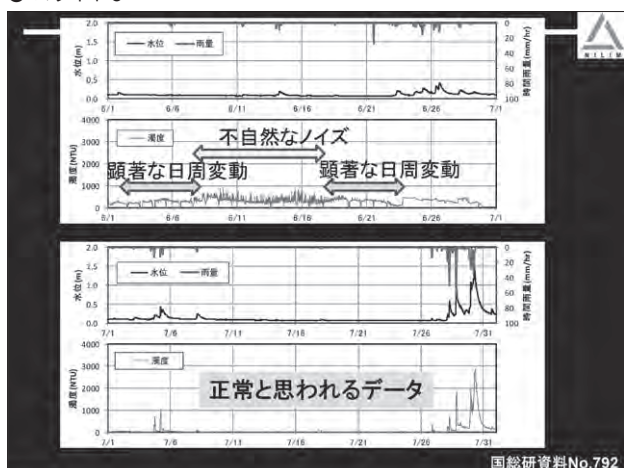
そのほか落葉とかが出てきたり、場合によってはゴミもあるかもしれませんが、そういうようなものが濁度計に絡まったりするとなかなかうまく測れない。そういう問題もあります。

また山地流域の特徴として、割合に大きい、少なくとも数mmオーダーの粒径が浮遊しているということも指摘されております。そのような浮遊土砂とは言え、粗い粒径のものに対して濁度計がなかなか計測しづらいという問題もあります。あとは、浮遊砂ですから、鉛直方向に濃度分布がある可能性が高いと思われますが、鉛直方向の濃度分布を測るのもなかなか骨の折れる作業で、その辺も課題が残されております。こういうような課題がある中であっても、データも蓄積されてきているというところでございます。(スライド9)

課題の例とすれば、非常に例えば水深が浅いところでは、濁度計が表面に浮いてしまって日射の影響を受けてしまうので、日周変動がみられるというような課題が出てきております。この辺についてはこの間、国総研のほうで国総研資料として北海道の寒地土研と共同で濁度計の観測の精度を向上させるような手引きのようなものをまとめておりますので、必要あればぜひご参考いただければと思います。

それで、もう1つの問題として、機械的な問題とすると、広く知られている問題ですが、濁度から土砂濃度に変換するのに粒径の依存性が非常に強いと

● スライド9



いう問題があります。これは幾つかの機械の、別に機械のよしあしを比べているわけではなく、機械ごとに土砂濃度と濁度の関係を粒径ごとに分けてプロットしたものです。(スライド10)

それで見てくださいとわかるように、粗い粒径になると非常に土砂濃度と濁度の関係の傾きが緩くなっていく特徴があります。緩くなっていくというのはどういう意味かと言うと、土砂濃度が大きく違っても濁度にほとんど差があらわれないということを意味しているので、濁度を一生懸命に測っていても浮遊土砂の濃度に変換するときの誤差が非常に大きくなってしまふということを意味しております。ですから、先ほど言いましたように、山地河道のように粗い粒径のものまで浮遊土砂となるような場合において、濁度計がなかなかうまく機能しないような場合が1つ考えられます。

もう1つは、このように粒径によって傾きが違うので、同じ濁度であっても細かい土砂が卓越した時期と粗い土砂が卓越した時期で、もしかすると土砂濃度は全然違う可能性があります。これはパッと見ておわかりいただけるように、これは両対数ですから1メモリ違うと1桁ぐらい違うので、かなりドラスチックに濃度に影響します。ですから、粒径がどれぐらいなのかというのを把握しておくことは非常に重要です、粒径によって濁度だけ測っていてもなかなか土砂濃度に換算しづらいという問題があります。そういう意味では粒径の調査というのも重要

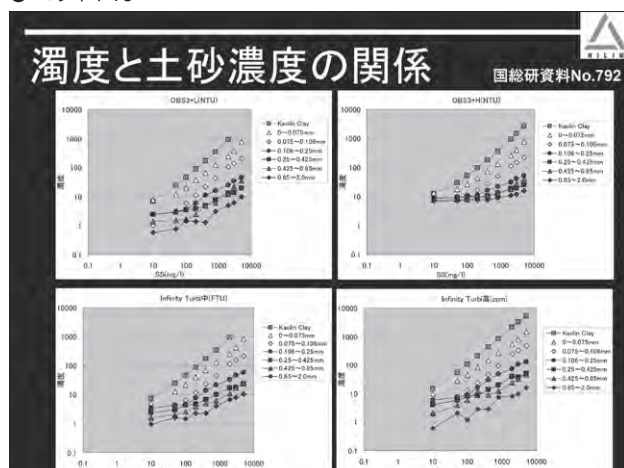
になるんですが、粒径を測ろうと思って今度は採水するようにしていくと、だんだん連続観測なのか、わからなくなってくるというところがあるので、その辺のバランスをどう取っていくかというところが課題です。

それで、ひとつの解決策としてこういう浮遊土砂の採取器のようなものを使って、ある期間、瞬間瞬間は取れないんですが、例えば1月おきとか、1月間ぐらいの土砂のサンプルが取れるというような装置が提案されております。時間分解能がかなり粗いので、これだけでいいかという問題はもちろんありますが、ひとつの方法としてはあります。(スライド11)

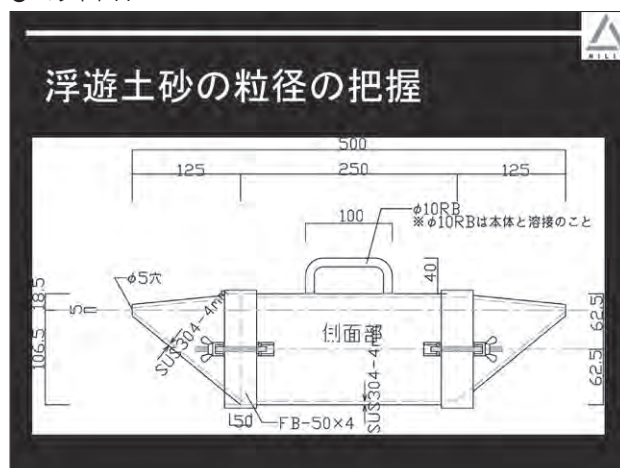
これは土砂が管のようなところに入って来て、管の中が少し広がっているような感じになっていきます。それで一回、管の中に入ると流速が落ちることによって、その流速が早い条件で浮遊していた土砂が沈むというようなメカニズムにより浮遊土砂をトラップするよう提案されているものです。これは基本的には土砂のサンプリングをするような機械として提案されているので、土砂量とかに換算するのはなかなか難しいんですが、サンプルは取れるという感じです。

それで実際にこれを使って粒径調査がされています。これは一例ですが、福島河川国道のほうで調査された結果です。(スライド12) それで、なぜ福島の結果を示しているかという、今のような調査は

● スライド10



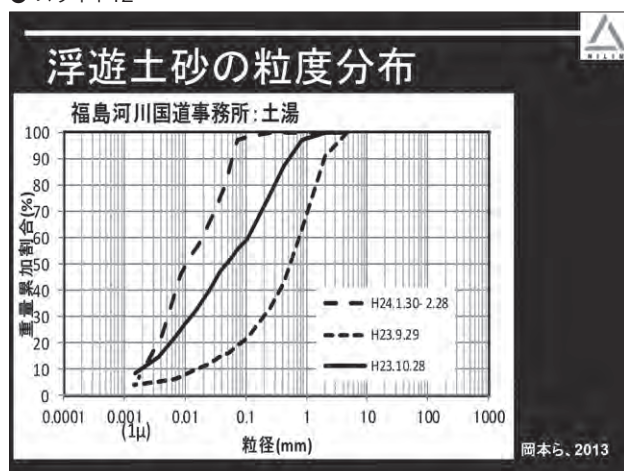
● スライド11



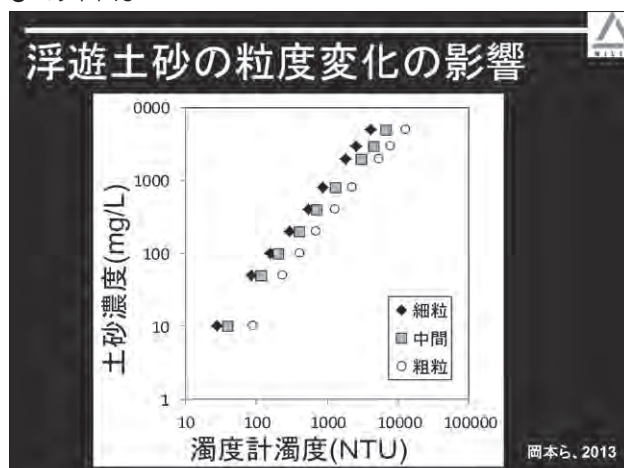
全国の直轄の砂防事務所が全部やっているわけではないんですが、かなり多くのデータが蓄積されております。その中で出水によって粒度分布が違った場所を選んできています。ですから、これぐらい粒度分布が時期によって違う場所もあるということです。中にはほとんど変わらないようなデータもあるんですが、そういうのを見てもあまりおもしろくないと思ったので、このように粒径が違うものを選んできました。同じ浮遊土砂と言えども、出水によって粒径が変わるというようなことも、今のような手法を使えばある程度は確認していくことができます。

それで、こういう図（スライド13）なんですが、これは何をしようとしたかと言うと、このように粒径が変わりますというのがわかったとして、一方で先ほどお示しをしましたように、濃度と濁度の関係

● スライド12



● スライド13



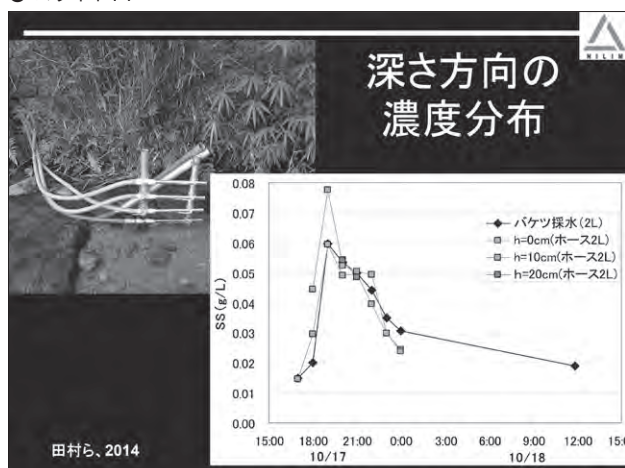
は粒径によって傾きが変わりますので、濃度と濁度の関係が粒径によって違うという実験結果として、これぐらい違いますというのがわかりますが、これが実際の川で適用すると、粒径による濁度と濃度の関係の違いがどのぐらい濁度が同じでも濃度の差になるか。言い換えれば、一つの濁度・濃度変換式を使うとするとどうなるか、というのを考えてみた図です。

要は、同じ土砂濃度であっても濁度が違う場合がありますという図を示しております。この程度のばらつきは生じ得ますということをあらわしております。

あともう1つ、深さ方向の濃度分布がどれぐらいあるかという問題があります。それで深さ方向の濃度分布というのも、このように河床から30cmぐらいまでですが、採水して測るとこの範囲ではあまり濃度の分布が見られないという結果が出てきております。（スライド14）ただ、これは一例しかないので、この辺でどういう濃度の分布があるのかというのは、もう少し分析していく必要があるかなと思っております。ただ、濃度の分布を実測しようとするとかかなり大変なので、この辺もある意味で代表的な高さで測って全体を推定するような手法とかを今後はもう少し検討していく必要があるだろうと思っております。

それで次に音響式掃流砂量計について簡単にご紹介します。これは河床に鉄パイプのようなものを入

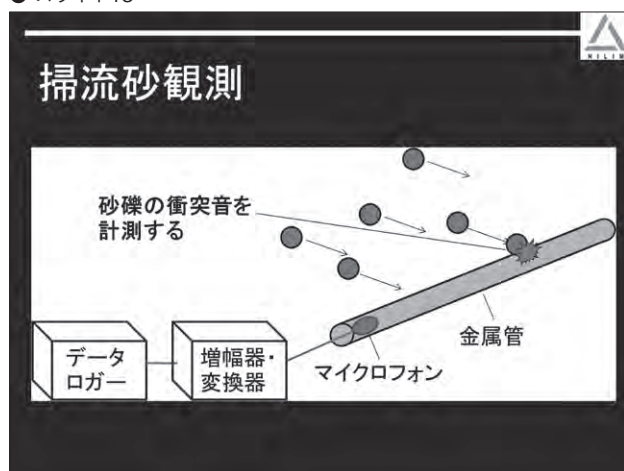
● スライド14



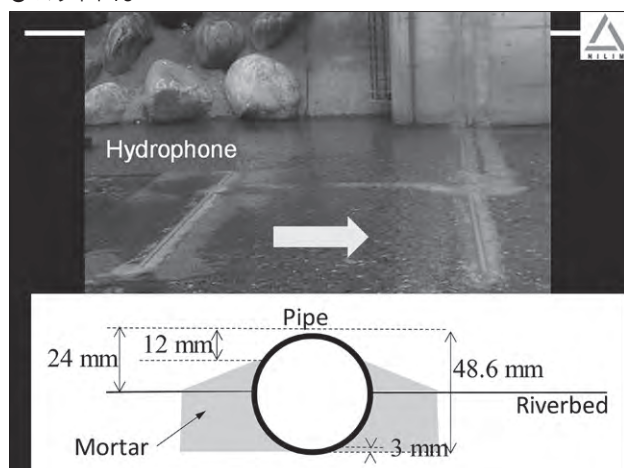
れておいて、その中にマイクを設置して、その鉄パイプに当たる土砂の音を拾って粒径と土砂の移動量を推計する技術です。それでちょっと繰り返しますが、この河床に鉄パイプを半分ぐらい入れておいて、上流から掃流砂が流れてくると鉄パイプに衝突するので、その衝突した音の大きさを測ることによって音の大きさから掃流砂量とか掃流砂の粒径に変換する手法です。(スライド15)

それで実際の設置状況がこれです。いろいろ実験用に2つ付いているんですが、通常は1つだけ付いています。(スライド16) それで、左側が上流でこのように土砂が流れている。このようなものが河床に付いていて、ここに衝突する土砂の音を測っていくというものです。それで形状は一般的によく用いられているものはこのような形状で、約5cmの径の鉄パイプ、厚さはいろいろあるんですが、2mmぐ

● スライド15



● スライド16

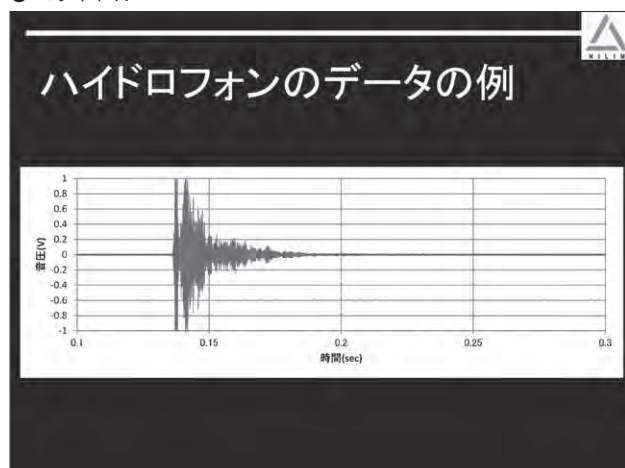


らいから4mmぐらいの厚さのパイプを約半分、河床に埋めていて、ここでは砂防堰堤の天端に当たるコンクリートを少しはつついて埋め、周りにモルタルで固定するような感じになっています。それで、ここに土砂がこのようにぶつかったりしながら、鉄パイプに当たる音を内部に入っているマイクによって計測するということです。

それで実際に1つ粒子を鉄パイプにコーンとぶつけると、このような波形が得られます。(スライド17) このようにコーンとぶつかったからといって、1回だけ音が鳴るんじゃなくて、どうしてもある程度こういう残響が出ます。これが流速や衝突する土粒子の運動エネルギーのようなものによって、この音のレベル、振幅が違おうだろうと考えて推計されている技術です。また、複数の粒径がぶつかるこのような波形が複数発生しますが、その数を数えて、何回くらいぶつかっているのかというのを推計しようとしております。

それで実際に1個だけ粒子をぶつけたときにどうなるかというのを見ると、(スライド18) 横軸が単位時間当たりぶつかった土砂の量で、今回は1個しかぶつけていないので、1個の土砂の体積、それで縦軸が「音圧値」と呼ばれているものですが、音圧値というのはこの波形データを崩落するような線をつかって、その積分値のような値です。音圧値、基本的には先ほどの波形積分値、その積分値と土粒子の体積の関係を見ると、ちょっと若干外れている

● スライド17



点もありますが、おおむね線形な関係が出てくる。要は粒子の体積が大きくなればなるほど、音の程度も大きくなりますよという関係をあらわしています。

しかし、1個1個ぶつけると今のような関係が出てくるんですが、実際の川などでは同時に複数の粒径が流れてきています。それで完全に同時にはぶつからないかもしれませんが、0.何秒とか、0.0何秒をずれて2つの粒径がほぼ同時にぶつかる可能性があります。先ほどは説明しませんでした、パイプの長さはいろいろな長さがあるって、50cmとか2mぐらいのものが標準的によく使われておりますが、その2mとか50cmの範囲に土粒子が同時に複数ぶつかる可能性は十分にあります。

そういうような場合にどうなるのかということを見てみると、このようになります。(スライド19) これは先ほどと同じように、流砂量と音の大きさの程度をあらわしております。それでこの直線が先ほどの、1個1個ぶつかるとしたらこのように増えるだろうというように考えられている線です。ですが、実際にはその線に比べると、大分小さい音しか発生していないんです。要は、本当なら100ぐらい発生してもいいのに、実際には音は10とか20というレベルの音しか観測できないでおります。この理由は、同時とか、ちょっとずれたときに、先ほどのこういう音の波形があるので、これが重なり合うことによっていわゆる干渉してしまう。お互いに打ち消し合うようなことが生じる。それで波なので、複数の

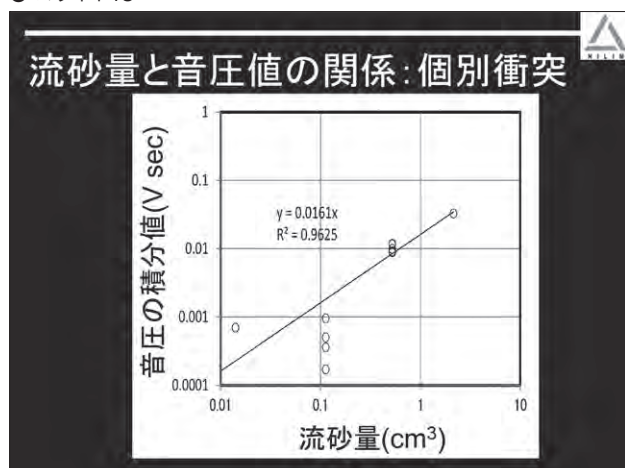
波が合わさったからと言って、 $1 + 1 = 2$ 以上に増幅されることはないんですが、干渉されて減る、要はマイナス側のものとプラス側のものが相殺し合うことがあるので、基本的には同時にぶつかればぶつかるほど干渉し合って、想定していたばらばらにぶつかったときに比べると音の程度が小さくなってしまふということを、この図は表しております。

では、実際にどの程度、音が小さくなるのかというのは、この線に比べて今これがどれぐらい小さい範囲なのか、ここを1としたときに、この辺が例えば0.5なのか、0.2なのかというようなもので表現できます。要は、ばらばらにぶつかったときに期待される音の程度よりはどれだけ小さいか、というものを表すということです。

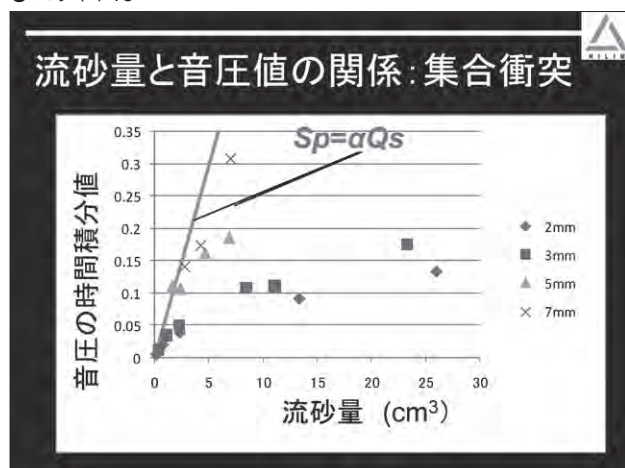
それで、それがどれぐらい実際に小さいのかというのを、実験的に計測したものをプロットしたものです。(スライド20) 横軸が単位時間当たりに衝突した粒子数で、縦軸がどれぐらい干渉によって音が相殺されてしまっているかという程度をあらわしたものです。このように同時にぶつかる粒子がふえれば増えるほど、単調に減少していくようにプロットされております。

それで、この線は数値計算によってモデル的に想定したものです。それはどうやって想定したかというと、先ほど音の波形がありましたが、あの音の波形を用いて、乱数的に衝突が起きたというように、波形を単純に重ね合わせただけです。要はいろいろ

● スライド18



● スライド19



な波形があるんですが、いろいろな波形をランダムに発生させて、それらを重ね合わせることによって重ね合った波形が現れるので、その重ね合った波形の程度、z数値計算上もとってきた波形の音の程度が、期待される音の程度よりどれくらい小さいかというのを表したものです。それで多少ズレはありますが、実験と計算でおおむねよく合っている、というように考えています。ですから、基本的には先ほど言いました単純な重ね合わせで、おおむね音の干渉によって失われる程度が表現できるというように考えております。

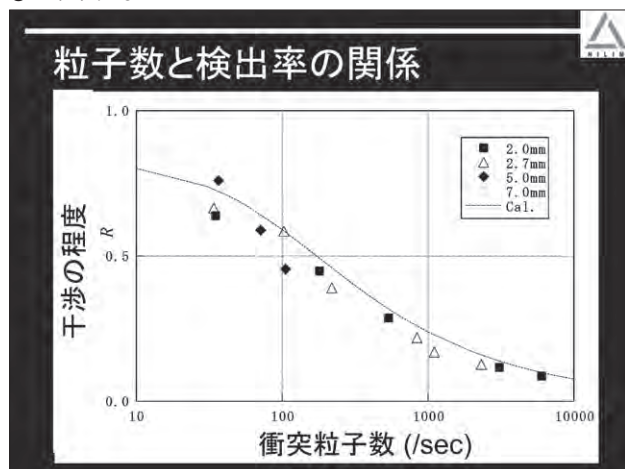
音の程度と流砂量との関係は、まず1つは流砂量が増えれば音の程度も大きくなるという比例係数のようなものと、あとは衝突の個数によって依存する干渉の程度をあらわすこの関数式、この2つの関係式があれば音の程度と流砂量の変化が可能となると

ということです。(スライド21)

ここでもう少し考えてみますと、流砂量というのも粒子の個数と粒子の体積、単位時間に当たる粒子の個数と粒子の体積によって依存するものです。ですから、こうやって見ると結局、単位時間当たりにぶつかる粒子の個数と粒子の体積という2つの未知数の数があることになります。2つの未知数があって、観測上得られるデータは音圧値の一つしかないというところです。ですから、「n」か「v」かどっちかを求めないと、Qsc（流砂量）は求まらないことになる。音圧値から流砂量を求める関係式は、一つは作れるんですが、未知数が2つあるので流砂量に変換できないということになります。(スライド22)

それで今、実際に全国的に使われている手法ではどうしているかと言いますと、ある一定期間の音響の音のデータを、(スライド23) 5つとか10とかに

● スライド20



● スライド22

掃流砂量の算出

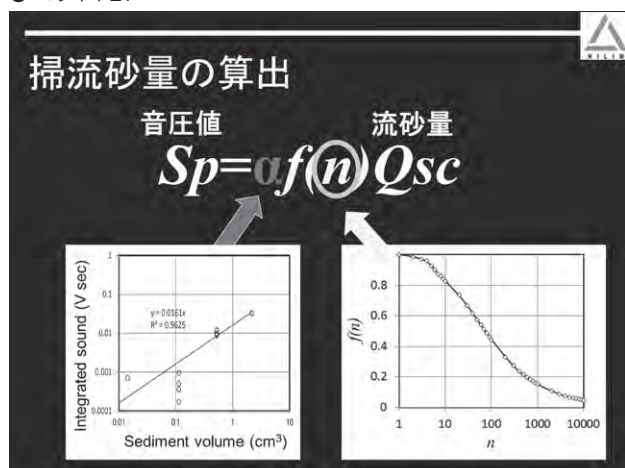
音圧値 流砂量

$$Sp = af(n)Qsc$$

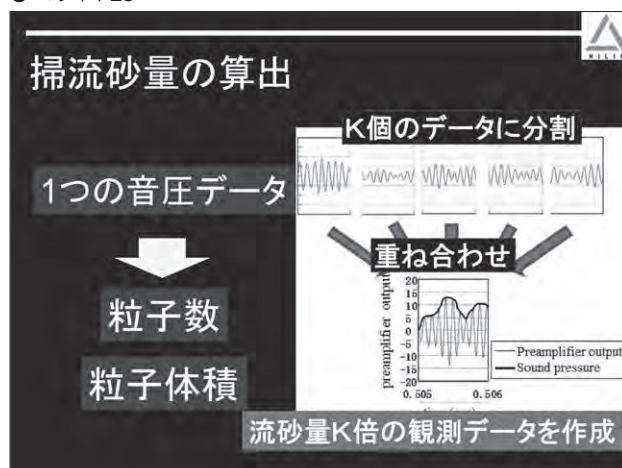
$$Qsc = nv$$

粒子数 粒子体積

● スライド21



● スライド23



分割して、ここは個々に分割した絵を描いていますが、その分割したものを足し合わせることをしております。足し合わせることによって、新しい波形が1つあらわれます。この波形について、もちろん流砂量はわからないんですが、もとの5倍の流砂量だと考えることができます。これは幾つかわからない流砂量があるんですが、この流砂量の5倍はこういう形だというのがわかるので、この波形とこの波形を使うことによって、先ほどのSpとQscの関係式が2つ現れることになります。5倍のQscのときのSpはわかるので、その関係式を使うことによって何倍かというのは既知の数ですから、2つの未知数が解ける2つの方程式が現れることになります。

詳しい話はまた後で参考文献をお示しするので見ていただければと思いますが、基本的には1つのデータを分割して、それを重ね合わせることによって流砂量が求められるということになります。

では実際に、今のややトリッキーな方法が本当にうまくいくのかというのをご紹介します。これは天竜川上流の河川事務所のほうで実施されている流砂観測です。(スライド24、25) ここは先ほど言いましたハイドロフォンという機械とともに、土砂をトラップするようなシステムがついております。この土砂をトラップして計測した土砂の量と、ハイドロフォンの比較をしております。土砂のトラップは、河床から土砂が、下に穴が空いていて、その穴に土砂が落ちるような感じです。そこからパイプで導

水された先に、かなり大きなシリンダーがついていて、そこで遠心分離のようなものをされて、非常に細かい濁質成分のようなものは外に流してしまい、ある程度大きな粒径の土砂を採取して、一定時間あたりの土砂の量を計測するということです。この装置は河床についているので、それは掃流砂だろうと。もちろん浮遊砂がピョンと跳ねて落ちることもあり得るんですが、大半はそういう掃流砂的なものであらうと想定して、この量と先ほどのハイドロフォンで推計した量を比較するという実験を行いました。

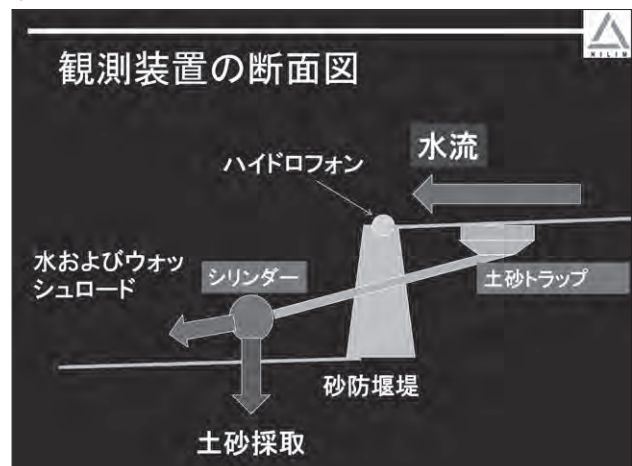
これがそのときの、先ほど十津川で非常に大きな災害があったときの天竜川のデータです。(スライド26) ちょっと見づらいんですが、この点線が水位をあらわしております。それでこの薄い実線がハイドロフォンによって求めた流砂量、この黒いプロットが先ほどの土砂採取箱のようなもので受けて求めた掃流砂の量です。この土砂採取箱のようなものは、非常に大がかりな機械で、あれは自動的に動くわけではなく、人間がマネジメントをしなければいけないので、なかなかずっとは取れないので、これは24時間分のデータしかありませんが、その24時間のデータに関して見ると非常によく両者は一致しております。

さらに、この水位の変動とかを見てみると、必ずしも水位の変動と流砂量の変動は必ずしもぴたりとは一致していなくて、非常に複雑な土砂の移動形態があることがこれからもわかります。それで下の

● スライド24



● スライド25

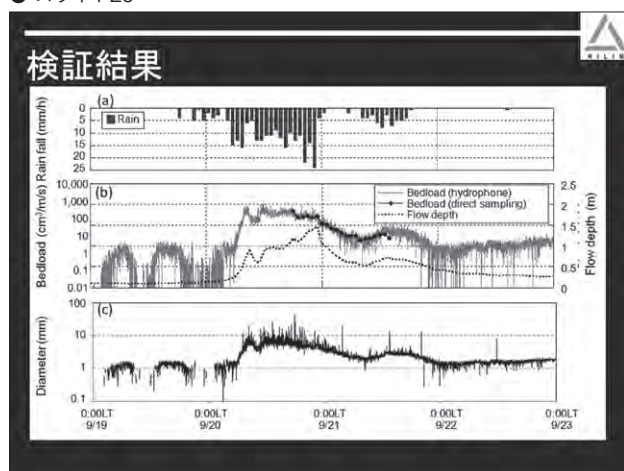


図（スライド26の下グラフ）が、先ほど求めました土砂の堆積から求めた粒径の変動です。こうやって見ると、出水が大きくなって流砂量も大きいような時期には粗い粒径のものも動いていて、代表粒径的なものが1オーダーぐらい出水の期間中に変わっているというようなことも、徐々にですがモニタリングできるようになってきております。

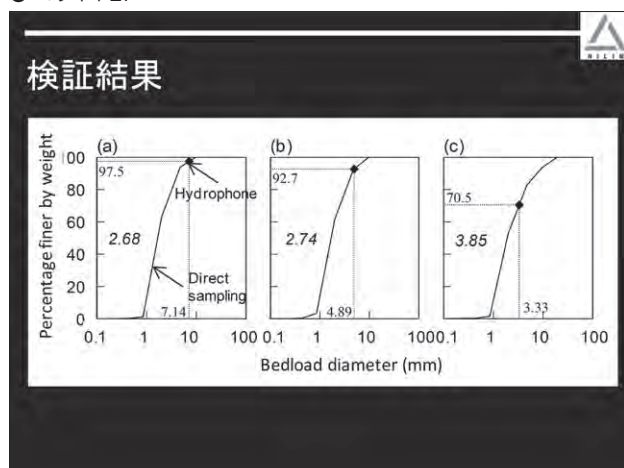
それで、では粒径のほうは本当に正しいのかというのを検証してみると、必ずしもぴったりと一致はしていませんが、基本的には採取した土砂の粒度の中に入っておりますし、そんなに悪くはない。要はオーダーでずれたりというような感じではない結果が得られております。（スライド27）このようにある程度、今のハイドロフォンという技術を使って流砂量とか粒径がわかるようになってきております。

あとは、これだけが全ての技術ではなく、ほかに

● スライド26



● スライド27



もいろいろ技術があります。もちろんここで紹介するものだけでもないんですが、少し事例を紹介すると、いわゆる「砂面計」と呼ばれるもので、どこまで河床が上がったのかというのを、ある深さ方向にインターバルを持って計測できる。あるところにまで、それぞれ幾つかの高さのところに光源と、それを受けるセンサーというのがついていて、ある光源に対してどの程度のものが出るのかとか、あとは単純に日射だけで測る場合もあるようですが、いずれにしても河床がどれだけ上がったかというのを見れるような機械です。これは富士川の砂防事務所のほうで測られている状況ですが、ここは山地の流域で非常に土砂がダイナミックに動いているようなところ。数mオーダーで河床が上がったり下がったりするようなところで、なかなか観測自体が非常に難しいこのようなところでもこういう技術でデータが取られています。（スライド28）その一例を紹介いたしますと、非常に急激な河床の上昇みたいなものが計測されている。それで出水の前半は河床は大きくは変動しないにもかかわらず、ある程度以上に積算雨量が増えてくると急激に河床が上がって、出水期間中に数m単位で河床が上がるといような、こういう変動も取れるという機械も設置されております。

また近年はよくご存じのことと思いますが、レーザープロファイラーのデータとかも取られております。これは湯沢砂防事務所管内の登川で、これは登川の下流のところで新潟福島豪雨のときに一度破堤

● スライド28



しているところがあります。こういうときに大量の土砂がこの辺に溜まっている様子がわかりますが、このときに流域の中で実際に土砂がどういう動態だったのかというのを、出水中の変動は追えないんですが、出水前後の変動のようなものは複数式のレーザプロファイラーのデータの差分を取ることによって、内部の土砂の動態が従来はなかなかわからなかったところが非常に詳細にわかってきた。その結果、かなり大量の土砂が魚野川本川に流れ込んだのではないかなというように推定されております。(スライド30、31)

また近年では監視カメラの画像等を用いて、流れの状態を推定しようという試みも行われております。これは幾つかの事務所で行われておりますが、なかなか出水が、特に、山の中だと水位が急激に上がるので、従来の水位計だとなかなか計測しづらかったりする問題があります。それで超音波の水位計だとこのように非常に波を打っている状況の流れを取っても、その波の表面を取ってしまうのでなかなか流量に、実際の水位に置き換えづらかったりする。かと言って、河床に機械を設置したとしても、このような状況で非常に大きな土砂とともに壊れてしまっていると。なかなか観測データが取れないので、ビデオカメラの画像等を用いて水位や流速を推計して、流量を把握するような検討も行われてきております。(スライド32、33)

それで、最後にちょっとだけ、こういう観測がい

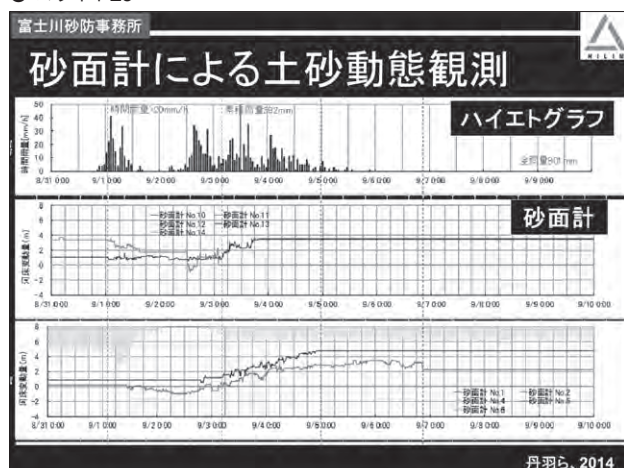
ろいろ行われてきている中で、いろいろ技術はあるんですが、どういうことがわかってきているのかということを紹介しようと思います。先ほど言いましたように全国各地で流砂量の観測が進められております。それで多くは先ほどのハイドロフォンとか濁度計を使いながら観測が進められておりますし、それ以外の技術も適宜適用されてきております。(スライド34)

例えばどういうことがわかるかというと、これが浮遊土砂の濃度をプロットしたものです。それで、流量と流砂量をプロットしたもので、出水のピーク付近のものを主としてやってきたものです。これはよく言われている流量のべき乗の関数になりますよということなんです。(スライド35) これは従来は山地流域でいろいろ採水されて求められた土砂濃度から求まっている流砂量です。この線というのは何を

● スライド30



● スライド29



● スライド31



示しているかという、水理公式集とかで示されている浮遊土砂の流砂量、 $Q-Q_s$ 関係はこの辺のレンジに入りますよというのを示したものです。その山地領域で示されているものというのは、このレンジのほぼ上限値か、場合によっては上限値を上回るようなかなり多くの流砂が上流域では運ばれていることがわかります。

一方で、これが濁度計からの推定値で、もちろん濁度計の推定値は先ほど言いましたような問題を抱えてはいるものの、こちらを見てもなかなかこういう大きな流量体のデータというのは非常に限られているのがよくわかると思うんです。実際に測られているのは割合に少ない流量体のデータで、本当の出水時のデータというのは従来でもなかなか取りづらいような状況であると思います。そういうのを先ほど言いましたように、いろいろな課題はあるものの

連続観測ができるという有利性を使うことによって、徐々にそういうところのギャップというか、穴を埋めれる可能性があるかなと思っています。

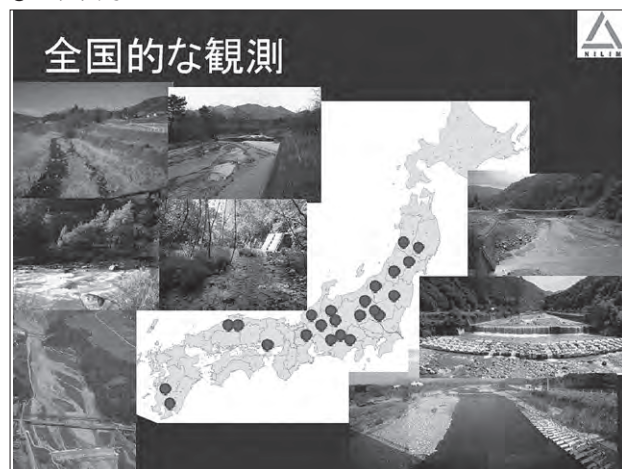
ほかには、これがハイドロフォンのデータから求めた無次元掃流力と無次元流砂量との関係で、いろいろな関係が見て取れます。(スライド36) こういうのも流域によって個別な特性があるんじゃないかなというのが示唆されると思います。それで、ではどういう特性があるのかというのを後で一例を紹介していきたいと思います。

それでちょっと順番は入れ子になっていますけれども、浮遊砂の話を少ししたいと思います。これは六甲山地で六甲砂防事務所が観測している事例です。(スライド37) ちょっと見づらいんですが、六甲山地では去年、一昨年ぐらいに多くの流域で浮遊砂の採水が行われております。それを先ほどの $Q-$

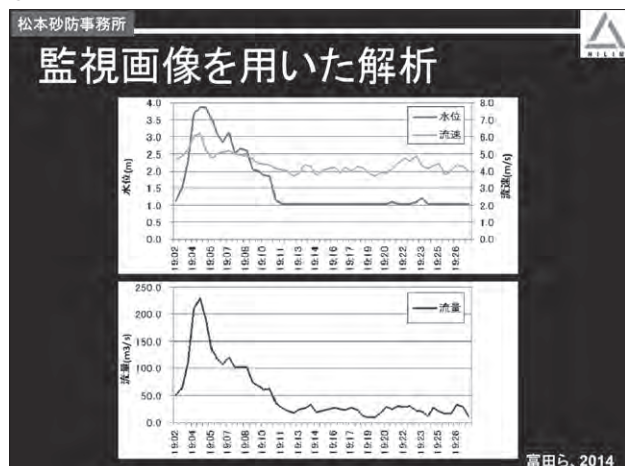
● スライド32



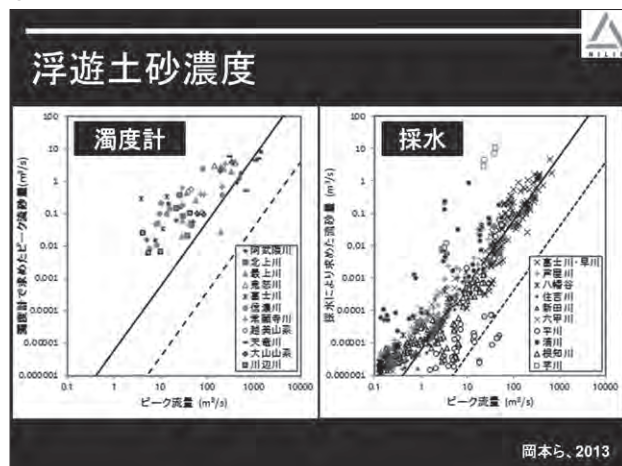
● スライド34



● スライド33



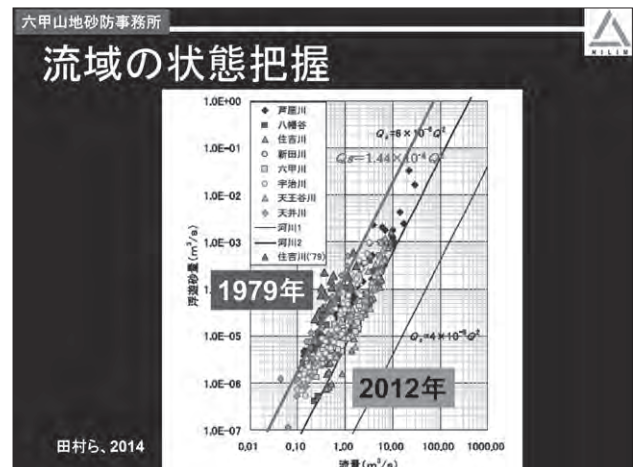
● スライド35



それでご承知の方も多いかと思いますが、明治初

そのころ平成7年に阪神淡路の地震があって、それでも山が崩れているんですが、基本的に最近の神

● スライド38



● スライド39



戸は、今年はかなり大きな雨が降っておりますが、それまでの間はあまり大きな雨が降ってなかったというようなところもあります。そういう意味で、流域の状況が変化してくるのに当たって、流出する土砂の量というのは1～2オーダーぐらい変化し得るということを示していると思います。そういう意味で、流域の概況を把握する上でも流砂観測は大事だと思っております。

あとはもう一つ事例を、先ほどの掃流砂のほうの話をしたいと思います。これは富士川流域の大武川というところと木曽川の支川にある川上という地点の比較です。(スライド41) ほぼ同じような流域面積で、河床勾配も比較的近くて、河床の粒度分布もそんなに大きく変わらない2つの流域を比較してみます。

これを見ると、これも横軸が掃流力で、縦軸が流砂量の関係をプロットしております。(スライド42)

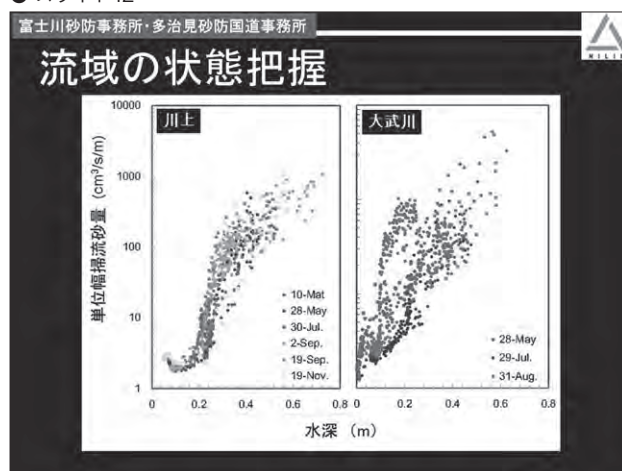
こちら側が川上で、こちら側が大武川ですが、よく見ると多少はばらつきがあるものの、おおむね水深と流砂量の関係はおおむね1：1の関係に乗っていることがわかります。ただ、大武川のほうは3つの出水をプロットしておりますが、2つの出水は割合に乗っているんですが、1つの出水はあまりきれいな関係を見せていない。大きくばらついているようなプロットをしております。

これはどのように起きるのかというのをよくよく見てみると、1つの出水のときに行き当たるということになります。(スライド43) これが先ほど言いました2011年の台風12号です。そのときの出水のデータですが、この薄い線が流砂量のデータで、黒い線が水位のデータです。それで、降雨の前半、出水の前半は割合に出水に、流量の変動に対応して流砂量が増動していることがわかります。た

● スライド40



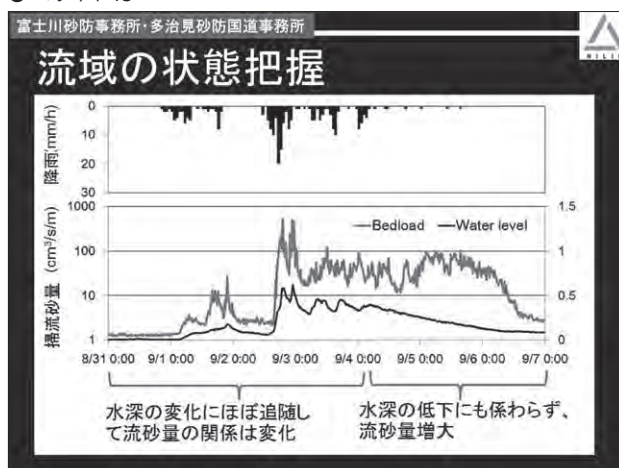
● スライド42



● スライド41



● スライド43



だ、一方で後半は流砂量は推移が低下するにもかかわらず、掃流砂量が若干増えるか、ほとんど変動しないような領域です。前半は水位変動に追随しているにもかかわらず、後半は水位とは無関係に流砂量は変動しているように見えるということで、ここを境に流況が変わっているような感じが見て取れるかと思います。

それでちょっと残念ながら大武川のきれいなデータがないので、隣の濁川というところの隣のデータなんですが、ほぼ同じような特徴を有しているのでそっちで比較してみると、ここでも同様に出水の、先ほどの2011年9月の出水によって、それ以前に比べると水深が小さいにもかかわらず流砂量が多くなるような傾向が見られます。(スライド44) それで先ほど言いましたように、出水の途中でその傾向が変わっているというような感じです。これはたまたまなのかと思って見てみると、その半年後ぐらいの出水でも、割合にその9月の台風12号以前の出水に比べると、同じ水深でも流砂量が多いような状況が継続していることがわかります。

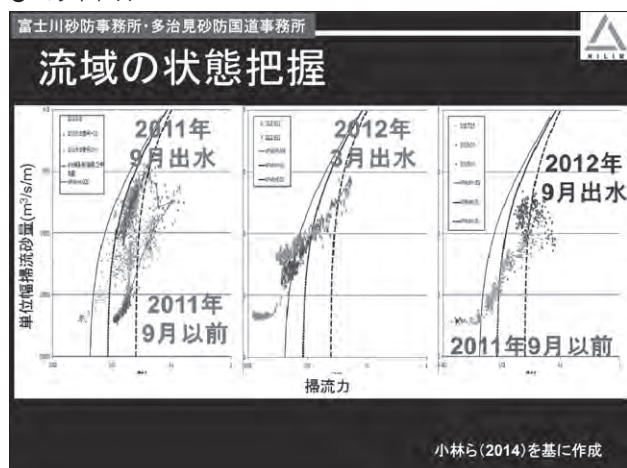
さらにその翌年の秋ぐらいになると、この紫色のプロットがそうですが、ほぼ2011年9月以前の出水のレベルまで元に戻っていることがわかります。ここがちょっと間のデータを飛ばしてしまっているのかわかりづらいんですが、流砂量関係は一旦上がった後、出水を経るごとに徐々に下がって行って、1年ぐらい経つと元のレベルに戻っているということ

です。恐らくこれは小さい規模ですが、何らかの土砂生産や、極端な河床変動がこの観測点の上流側で起きたんじゃないかと。ただ、それほど大きな現象ではなかったので、1年ぐらいで元に戻ったというのを表しているんだと思っています。このように上流域の土砂の流出の影響というのは、下流にある程度は伝播するんだろうというのを示している事例ではないかと思っています。

それで同様に、ここも天竜川の上流ですが、上流でオンボロ沢という非常に荒れた沢があり、名前からしても荒れていそうですが、そこから土砂が出ると下流で濁度の上昇が見られるという事例を紹介しています。ここでも雨量と濁度、水位の観測が行われています。その結果として、幾つかの出水がオンボロ沢というところで土石流的な土砂の流出がビデオカメラによって確認されております。一方で、幾つかの出水ではそういうような高濃度な土砂流出というのが上流で確認されております。これらの比較をしてみると、このような上流域で大量の土砂が流れたと思われる時は、水位と濁度の比を取って見ると非常に高い。要は同じ水位に対して濁度が非常に高いような結果を引き起こしている。ですから、こういう現象はある小さい流域内の話ですが、上流の土石流の発生のようなものが下流の浮遊砂形成のようなものに大きく効いている。(スライド45、46、47)

このように見てくると、一発のこういう1回の出水が効く、これは一瞬に伝播して下流でキャンセル

● スライド44



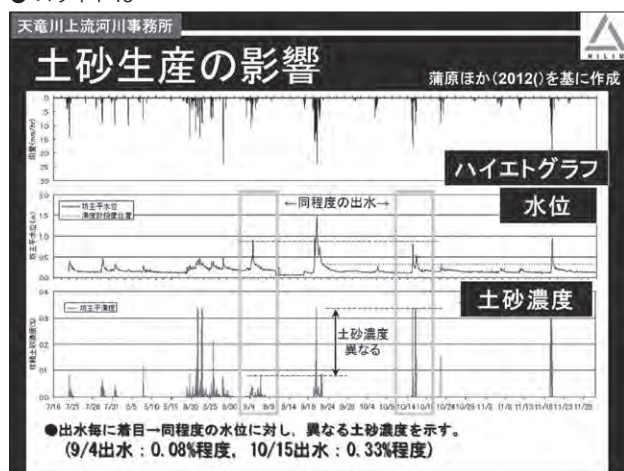
● スライド45



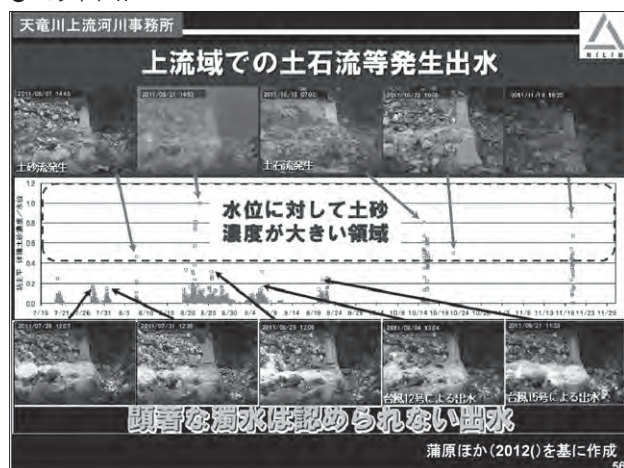
されてしまう。要は1回の出水が起きても、次の出水ではまた元のレベルに戻ってしまうような現象です。それに対して、先ほどのこういう現象というのは1年ぐらいかかって元に戻っていくという現象です。さらに、先ほどの1つ前に示した六甲の事例というのは、この間何が起きているかはわからないんですが、どうも数十年オーダーで土砂の動態が変わっているというような感じかと思います。

このようにいろいろなタイムスケールがあって、まだまだ十分な整理はできていない部分がありますが、冒頭に申し上げましたような大規模な土砂の流出とか、上流の環境の変化というのが下流の土砂の流出に大きく影響を及ぼしているというように考えられますし、それが1出水ごとに及ぼす場合もあれば、1年ぐらいの単位で及ぼす場合もあれば、数年から数十年という単位で影響を及ぼすものもありま

● スライド46



● スライド47



すので、こういうタイムスケールの違いが何によって決まっているのかというのを把握していければ、総合土砂管理とかそういう流域全体の土砂を管理する上でどういう指標で検討していくのがいいのかというのが見えてくるんじゃないかというように期待しております。(スライド48)

最後にまとめますと、今はまだまだ課題は多いんですが、山地地域で流砂水文観測とかそういうものが積極的に進められ、観測機器もいろいろな向上が図られてデータが蓄積されております。そういう意味で、いろいろな知見も徐々に集まって来ております。まだまだどう生かしていくのかというそういう課題はありますが、基本的にいろいろな土砂の動態というのは把握できてきます。そういう意味でそれぞれの流域でいろいろな問題になっているようなものも、どう解決していくかといういろいろなタイムスケールの違う現象が重なり合って生じている現象だと思いますので、そういうところをいかに解きほぐしていくかという意味で、こういう観測のデータの蓄積というのが一つ非常に重要になるのではないかと。要は、観測するデータをしっかり観測してみるといろいろなことがしっかり見えてきて、対策も議論できるようになるのではないかと考えております。ただし、なかなか機械のメンテとかそういう課題がまだまだありますので、そういうところは少しずつでも改善していく必要があるかなと思っています。

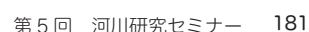
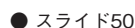
● スライド48

おわりに

- 山地河道における流砂水文観測は技術的な課題は多くあるものの、データの蓄積が進んできている。
- また、徐々に知見も積み上げられている。
流域の状態により、土砂流出量が大きく異なる
流出土砂量は土砂生産の影響を強く受ける
- 一方、流砂水文観測は様々な用途が期待される
- 今後はデータの有効活用、観測技術の改良、観測機器の維持管理等が課題。

それでちょっと時間がなくなりましたが、広島の話を少しだけします。時間も超過しているので、ごく簡単にですが土砂災害の状況をご紹介します。それでことしも全国各地で土砂災害が起きております。(スライド49) 特にここ数年、何となく感じられるのは非常に大きな雨が降って、大きな被害を及ぼすような現象が何となくふえているような気がします。それは気候変動の影響なのか、単純に波のある現象なのかというのはよくわかりませんが、いずれ事実としてこの数年は大きな災害が起きているというのは事実だと思っています。原因まではもう少し冷静な分析が必要だと思います。

● スライド49



らとしかなかったので土砂が谷を乗り越えて被害を及ぼしてしまったというような、ちょっと思っていなかったほうに土砂が流下してしまうみたいな現象が、その谷の発達が不十分な火山地域の特徴ではないかと言われております。

あともう1つは、非常に大量の流木が流れ出ていることです。これは恐らくこのように非常に広い崩壊地表面積を有しています。一方で先ほど見ていただいた紀伊山地とかの紀伊半島の事例に比べると、圧倒的に土層の厚さが薄いです。先ほどの数十mとかあるのに対して、これはせいぜい1mとか、ヘタしたら数十cmぐらいの非常に浅い層が崩れ落ちております。それもしかししたら火山帯の特徴かもしれませんが、そういう浅い層が崩れるに当たっては、要は立っている木に対して下の土砂の量が少ないので、見た目、立っている木がすごく多かったように見えるということではないかと思えます。そういう意味で、非常に大量の流木が流れ下ったというようなことが指摘されております。(スライド51)

それともう1つ、前回ちょっと失礼させていただいた原因になった広島市の土砂災害です。(スライド52) ここはこちら側が広島市の市街地で、こちら側は北のほうに当たりますが、そういう割合に広島市の市街地から車で30分ぐらいで、かなり便のいいところですよ。ですから、広島はご存じのとおり非常に宅地として開発できる地域が限られておりますので、こういう山の裾野まで非常に数多くの家屋が貼りつい

ているようなところですよ。そういうところで、その中では比較的大きな山があつて、阿武山というんですが、その山腹で集中的に土石流が起きている。非常に大きな70人を上回るような方が亡くなられるような、最近では非常に珍しいかなり規模の大きい災害が発生しています。

それで、ここの特徴は非常に強い雨が、3時間弱ぐらいですが、集中的に降ったことによって、いたる所の溪流で土石流が発生しているということです。先ほどの大金沢と呼ばれている伊豆大島のほうは、非常に大きな被害を生んでいますが、発生している流域はほぼあの一箇所なんですけど、ここは非常に多くの流域が同時多発的に被害を引き起こしたということが言えます。また、家屋が谷出口まで迫っていたこともあって、土石流の規模の割には被害の程度が非常に高いケースだと言えらると思います。それで、これは雨の振り方です。(スライド53) これはいろいろところで議論されておりますので飛ばしますが、これは非常に強い雨が夜中に降ったというのが特徴的だと思います。

それで先ほども言いましたように、土石流も非常に多発しております。それで家と谷の境界は、10度とか15度ぐらいあるようなかなり急勾配のところまで宅地が押し寄せてきているので、いわゆる最初にお見せした土石流、土砂流、掃流砂のような感じでいくと、土石流領域のようなところのすぐ直下に家があるようなところですよ。要は土石流がそのまま家

● スライド51



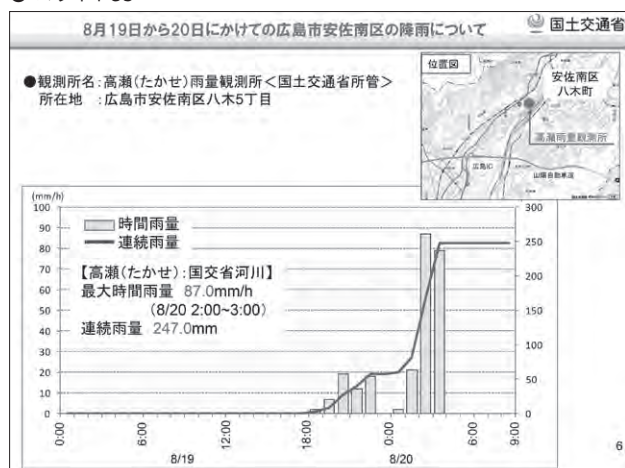
● スライド52



にぶち当たってもおかしくないようなところだったというのが、1つ特徴的だと思います。ただ、そういうところだと言って、もう少し防災の仕方があったのかどうかということについてはもう少し議論していく必要があると思います。(スライド54)

そういうところで、先ほどの大島のことも含めて我々のほうでどういう活動をしているのかを最後に簡単にご紹介させていただきますと、災害の直後ですから、一番警戒されるのは二次災害のようなことがないのかと、要は、次にまた雨が降るときに、小さい雨でも大きな災害が起きるのではないかと、いうことを皆さんは心配されますが、そういうところが実際にどうなんだというのを現場を確認して、市町村、広島の場合には広島市とか、安佐北区、安佐南区とか、そういう行政の方々に少しアドバイスをしたりとか、一緒に考えるということだったりとか、あとは、大きな災害になりますと行方不明の方がおられますので、そういうときには警察、自衛隊、消防の皆さんが搜索活動をされますが、そういう搜索活動においても、必ずしも自衛隊とかそういう人たちが土砂災害について精通しているわけではないので、そういう人たちに対してアドバイスをします。今なら搜索しても大丈夫ですよとか。逆に言うと、これぐらいの基準で搜索は打ち切ったほうがいいんじゃないかというようなことをアドバイスするような活動を、国総研のみならず研究所も、地方整備局の皆さんと協力しながら進めているところです。(ス

● スライド53



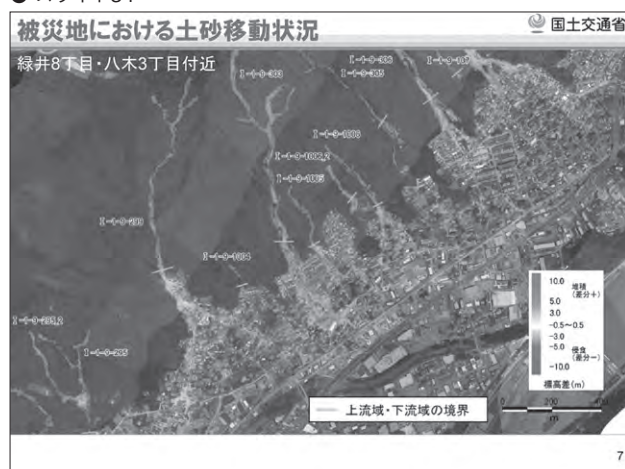
ライド55) その辺があって前回は来られなくてご迷惑をおかけしました。以上です。ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 最初の講演の中で、大規模な土砂災害のイベントの後の影響期間、何年続くのかとか、どのぐらい影響を及ぼすのかというところが砂防の観点から見た土砂管理上で重要なポイントだというご意見が非常に参考になりました。

それで今、いろいろ全国的に策定を検討している土砂管理の中では、砂防の土砂生産の取り扱いというのが割とイベントを除いた期間を対象としているというのが実情かと思いますが、それもやっぱり1回崩壊したりイベントのあるところではデータがあるんですが、ないところでは想定が難しいというところ

● スライド54



● スライド55



ころがあると思いますが、その辺について実際に今策定中の土砂管理の計画にこういう考えをどのように応用していけばいいかというご意見があれば聞かせてください。

内田 はい、ご指摘のところは非常に重要なポイントだと思います。2つあるかと思っています。1つは、いわゆる一発出水時の災害対応的な部分という計画、それは従来から「砂防計画」とか言われているものです。それと「総合土砂管理」の計画との、ある意味の親和性みたいなものと、かと言って両者が必ず一致する必要のあるものではないんだろうというところの兼ね合いが、恐らくまず1つ難しいポイントだと思います。

そういう意味で、通常時まで一発の大きな出水の有無を注意しながら土砂管理するというのは非常に負担も大きいですし、そこまでできるかと。そういう意味では、そういう部分はある程度いわゆる従来で言う砂防計画みたいなものに則って、そういうものの被害を防ぐと。

こういうものの難しいのは、この出水のどこまでを砂防計画的なもので対象として、どこから先はいわゆる総合土砂管理的なものなのかという分解点のようなものは場所によっても違うでしょうし、議論が必要なんではないかなと思っています。そういう意味で、1つ目のそういうご指摘をいただいたところで、総合土砂管理にどうやってこういう大規模なものを含めていくのかというところは、やはり砂防計画とかそういう一発出水のいわゆる防災メインにしているものとの関係の整理というものが重要かと思っています。

あともう1つは、ある程度そういうものを事前に想定して動くことができたとしても、現状、この災害の前にこれを想定してできる管理の方法というのがあるのか、ないのかという問題はもう1つ重要です。一方で今、川の状態というのがこのような大きなものから何年経っているのかというのを把握しておくことが一方では重要だと思います。そういう意味で、できる術がなかなか、これを想定してしま

うと事前にやっておけることはそんなにないかもしれないので、それができないからといってこういうのを無視していいということはないと思います。それは先ほども言いましたように、例えば六甲の事例で見れば、明らかに70年代よりは今のほうが流出土砂量は減っていると思います。それはこういう大規模な減少だったのか、人為的なはげ山の減少だったのかわからないんですが、減っていると。その減っている事実を踏まえずに将来を予測してしまうと、見誤る恐れがあると思います。だから今の状態と将来の状態というのは、こういうものからの経過年数によって支配されている可能性があるので、そこは砂防だけでなく河川も恐らく含めて、そういうものを想定していく必要があるんじゃないかと思っています。

ちなみに、嘘か本当かよくわからない部分があつて調べているんですが、この地域では1889年にもほぼ同様規模の災害が発生しています。そのときに生産された土砂は、まだかなり多くの部分は新宮川を流下している最中だったと。ちょっと二津野ダムとか、幾つか大きなダムができてるので必ずしも明瞭ではないんですが、割合にまだまだ下流側の河床上昇を1889年の崩壊が引き起こしていたんじゃないかというようなことを言っている先生方もいらっしゃるんで、そういう意味でも総合土砂管理計画を立てる上で、過去の大きな土砂災害とか土砂生産の履歴がどれぐらいの影響を受けてきているのかというのは考えるべきだと思いますが、ただ、今のところはお指摘のとおりまだまだ十分に議論が進んでいないところだと思います。ちょっと2つありますよと言っていたのは、だからそういう意味で、砂防計画との関連性みたいなところと、あとはできる・できないの問題は別として、実際の現象としてどういうところにあるのかというのを推定することが将来予測する上で大事ですよということだと思います。

質問者2 先ほどの大島と広島ので、大島は1つの溪流というか、割と溪流としては集中していて、広島はたくさんあり幾つもと。これは地質と降雨分布を重ね合わせた結果としてなんでしょうか、その

辺はどう見ておけばいいのかなというのを、もし整理されていれば教えていただきたいというのがまず1点です。

内田 もう少し整理が必要だと思いますが、ご指摘のとおりです。大島の、この範囲の特徴は、確か14世紀に溶岩が流れた範囲の上に土壌が形成されている地域で、ほぼその地域のみで土石流が起きているということで、今回の雨の降り方がそういう場所に対して非常によく降るという場所、土石流の発生しやすい降り方を恐らくしたんだと思います。そういう意味で、この地域だけでなく、多少離れたところでも雨が降っているんですが、一番極端に被害を受けているのはこちらです。

一方で広島の方も同様な傾向があるんですが、この地域は実はこの辺と、特にこの辺は割合に大きな谷が入っているのに対して、こっちのほうに来るとあまり扇状地域みたいに発達してない、かなり急なまま住宅地域に落ちるような、こっち側とこっち側は微妙に地質が違うんです。そういう意味で、地質が違う中でも両方で起きている。恐らくこういうところでも圧倒的に大きな雨が降った範囲は恐らく起きてしまっている。要はもう雨の程度が飛び抜けて大きかったんで、広島はこの辺の記録上の最大雨量が時間70mmだったと思いますが、今回100mmを超えるような雨が降っているんで、突出して大きい。普段、全く起きないぐらい突出して大きな降雨があったということで、どちらかと言うと雨の降り方だけに支配されて起きているんじゃないかと。

前者の大島も、ものすごく大きな雨なんですけど、大島は地質と雨の両方の影響を受けていて、広島は地質が違うところでも発生していることからすると、突出して大きな雨の影響が強かったんじゃないかと思っていますし、そういう議論がされていますが、それが定説かと言われると、まだもう少し時間が必要かなと思います。

質問者2 すみません、もう1つなんですが、流砂観測の体系化というか整理というのはすごく進んだなと思って感激して伺っていたんですが、今後さら

に進むとしてどの程度までものが見れるように、ある種のオーダーというか、精度、アキュラシーというか、そういう見通しを持っていてもいいのか、もし言えれば教えていただければと思います。

内田 これは非常に難しい問題です。2つあると思います。1つは、その場所のその情報が測れているかどうかという問題と、もう1つはそもそもその場所が代表しているのかどうかという問題があるかだと思います。それで前者のほうは徐々にですが、かなり進んできていると思います。少なくともオーダーでずれるようなことはもう決まっていでしょうし、最低でもその倍・半分ぐらいのレンジには恐らく収まってくるだろうと。もうちょっと細かい精度でも行くかもしれないです。

それともう1つのほうで、そこが代表しているのか、という問題は非常に依然として難しい問題だと思います。それは例えば先ほど見ていただいたような深さ方向の議論ももちろんありますし、今日はちょっと飛ばしてしまいましたが、掃流砂の議論をしようと思えばどうしても横断方向の議論とかを避けて通れないんですが、こういう広い河床のあるところのわずか50cmとか2mの範囲を測っている。複数ついているところももちろんありますが、そこが河川の横断の中のどれぐらいを代表しているのかという問題はもう少し議論が必要だと思います。それによっては非常に大きな誤差を含んでいる可能性があるのではないかと考えています。

そういう意味で、どういう場所で測るのかとか、先ほどの浮遊砂のことで言えば深さ方向の濃度分布をどれぐらい考慮しなければいけないのかというようなところがひとつ大きな鍵かなと思います。

質問者2 ありがとうございます。

質問者3 すみません、最後の話、私からもいいですか。

砂防というのは上流域の土砂移動というのは、今日は掃流砂の話と浮遊砂の話を、幾つかご紹介いただきましたが、何というか流れの掃流量とか、無次元掃流力とかそういうものと関係しようとしてもい

ろいろなことがあると、つまり上流域からの土砂の生産量とかそういうものに支配されていて、流れの場との関係を掴もうとしてもすごいばらつきが多い現象になるんじゃないかと思うんです。

そこをやっていくというのは、河川側からするともっと長いスケールで、むしろ上流の流域の状況、まさに上流からの境界条件が支配しているような山地の状況とか、砂防ダムの状況とか、そういうものの中で10年とか20年スパンでどれぐらいの量が出てくるのかと、それがざっくりとつかめれば総合土砂計画にものすごく役立つと。そういうように測ったデータをそういう視点で何か解析していただくと、川側からすると有力な情報になるなという感じがします。流れの場と関係づけるというよりは、むしろ上流側の状況とか、山の入り具合とか、そういうものを見たときにどれぐらい出てくる、と、そういうまとめ方をしていただくとものすごい総合土砂の技術が進むんじゃないかという感じがするんですが、そのあたりについて何かありますか。

内田 はい、ご指摘のとおり部分があるんだと思います。それで今日、私が紹介したのは、まさにその接点に当たっている部分だと思います。これを見ると、こっちの流域というのは割合に流れの状態と一致していたりして、この図を見るとこれがいわゆ

るMeyer-Peter & Müllerとか芦田・道上とかのいわゆる掃流砂量関係式、そういうのが乗っているような場所もあれば、乗っていないようなところもある。これをもっと上流のほうで山地崩壊現象とかを見ると、全然流れの状態にはもちろん効いてなくて、雨の降り方とか、先ほどの大島みたいな例を見ると、そっちが圧倒的に支配している状況だと思います。

そういう意味で、今日ご紹介したあたりは恐らく河川の流れの状態だけで支配されている、非常に流れの状態の支配性が強い領域と、本当に山の中の雨の降り方のほうとか、地質とか、そっちの条件だけで支配されているようなものとの接点となるようなところを見ているので、こういうところのデータをそういう意味で両側に拡張していくのが、そういう意味で生産から流送までをつないでいく上でのひとつのキーになる情報を示しているのではないかと思います。

そういう意味で、ひとつのまとめ方とするとそういう中長期的な整理というのがあると思いますし、もちろん逆に言うと短期的な生産がどうレスポンスして、それがどうやって下流に消えていくのか。恐らくある浮遊砂の応答が非常に一発の出水でパッと出れば、浮遊砂はそれで1回の出水で下流に流れていくのに対して、掃流砂のようなものは河床の状況



が変わらないとなかなか流砂量関係のようなものに差異が出て来ないので、河床の状況が変わるタイムスケールみたいなものと、一発で応答するタイムスケールの差みたいなものがあるんだと思います。そういう河床の状況が変わるタイムスケールみたいなものが、あれ以上長くなると多分、下流のほうで全然応答が見えなくて、ほぼ水理量見合いで流砂量が決まっているみたいな状況になっているのかと思っ

ています。

そういう意味でも、こういう情報をもう少し上下流も含めてうまく接続できるように整理していければ、ご指摘のとおりもうちょっといろいろな意味でデータの有用性が上がってくると思いますので、今後はぜひそういう方向で考えていきたいと思います。

(了)